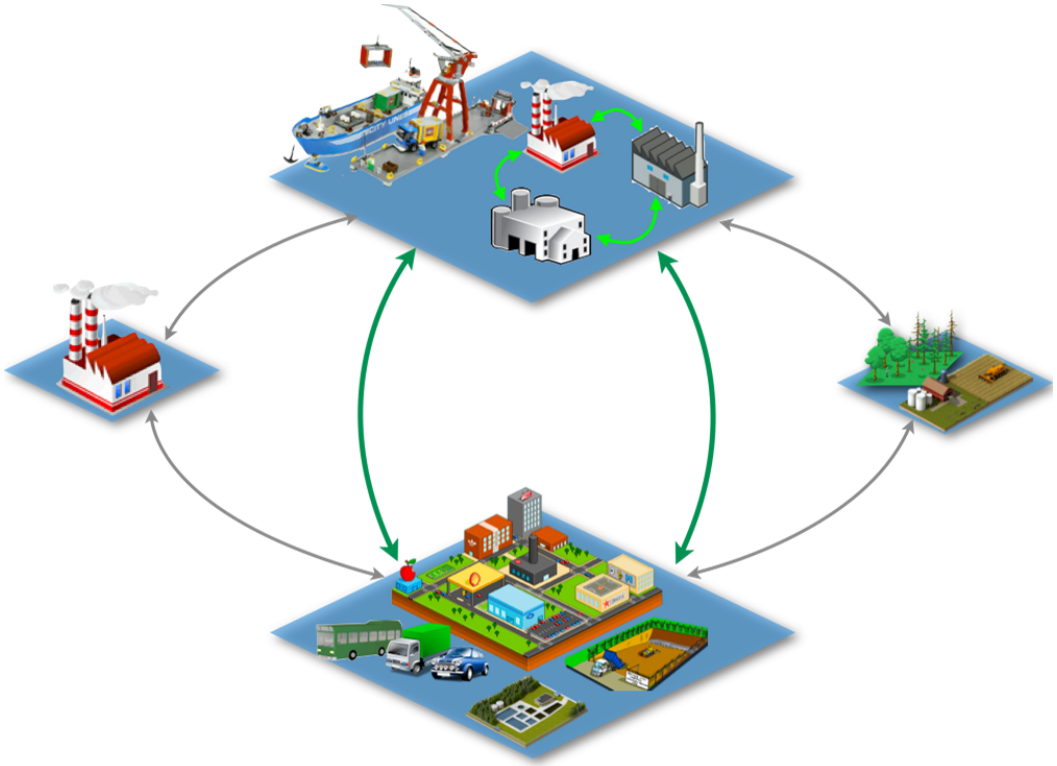
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ: ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Βιομηχανική συμβίωση: Ένα μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης και αξιολόγησης δράσεων



Φλόρι Κύκια

Επιβλέπων:
Δ. Ασημακόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2015

Στους Γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή ΕΜΠ Διονύση Ασημακόπουλο, που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με αυτό το ιδιαίτερα ενδιαφέρον και γρήγορα εξελισσόμενο επιστημονικό θέμα, καθώς και για το χρόνο που μου αφιέρωσε και τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας μου.

Ευχαριστώ επίσης, τον Δρ. Χημικό Μηχανικό Γιώργο Αραμπατζή για τη βοήθεια και τις συμβουλές του, και τις υποψήφιες διδάκτορες της σχολής Χημικών Μηχανικών Παρασκευή Κάρκα και Πατρίτσια Μαρία Σταθάτου για το χρόνο που αφιέρωσαν και τη συμβολή τους.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τα μέλη της ερευνητικής Μονάδας Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων της σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ για τη διαρκή υποστήριξή τους στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και τη συνεχή στήριξή τους κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο ΕΜΠ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 10

ABSTRACT 11

1 ΕΙΣΑΓΩΓΉ 12

1.1 Στόχος και αντικείμενο εργασίας 12

1.2 Δομή εργασίας 12

1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση 13

1.3.1 Η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης 13

1.3.2 Ορισμός της αειφόρου ανάπτυξης 18

1.3.3 Οι τρεις διαστάσεις της αειφόρου ανάπτυξης 19

1.3.4 Θεωρήσεις για την αειφόρο ανάπτυξη 22

1.3.5 Κυκλική οικονομία 25

1.3.6 Βιομηχανική συμβίωση 32

1.3.7 Επιλογή τόπου και τύπου συμβιωτικών δικτύων 40

1.4 Εφαρμογή βιομηχανικής συμβίωσης στην ελληνική πραγματικότητα 41

1.4.1 Κυκλική οικονομία, μπορεί να εφαρμοστεί στην Ελλάδα? 41

1.4.2 Είναι η τυπική βιομηχανική συμβίωση συμβατή με την ελληνική πραγματικότητα? 43

1.4.3 Βιομηχανικές περιοχές στην Ελλάδα 43

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΥΜΒΙΩΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ 45

2.1 Αλγόριθμος επιλογής & αξιολόγησης συμβιωτικών δράσεων 46

3 ΜΕΛΈΤΗ ΠΕΡΊΠΤΩΣΗΣ 57

3.1 Σενάριο βάσης 57

3.1.1 Ανάλυση και κατηγοριοποίηση εισροών και εκροών 57

3.1.2 Αναζήτηση πιθανών συνεργειών 68

3.1.3 Έλεγχος συμβατότητας και δυνατότητας πραγματοποίησης συμβιωτικών δράσεων 70

3.2 1ο Συμβιωτικό σενάριο 72

3.3 2ο Συμβιωτικό σενάριο 74

3.4 Αξιολόγηση συμβιωτικών σεναρίων 84

3.4.1 Υπολογισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου Βάσης 84

3.4.2 Αξιολόγηση συμβιωτικών σεναρίων και σύγκριση με το Σενάριο Βάσης. 101

3.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων 115

4 ΣΥΜΠΕΡΆΣΜΑΤΑ 118

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 120

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΚΛΑΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΜΟΡΙΑΚΗ ΤΟΥΣ ΔΟΜΗ 128

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΕΙΚΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑ ΚΛΑΔΟ 139

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ Ε.Ε. 142

ΕΙΚΟΝΕΣ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΠΥΛΩΝΕΣ ΤΗΣ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΠΗΓΗ: TITAN Α.Ε.) 19
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΜΟΙΒΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ 1948 ΩΣ ΤΟ 2014. ΠΗΓΗ: (ECONOMIC POLICY INSTITUTE, 2014) 22
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ. ΠΗΓΗ: (HANSEN, CHRISTOPHER, & VERBUECHELN, 2002) 23
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΡΧΕΤΥΠΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΩΝ (ΠΗΓΗ: ELLEN MACARTHUR, 2014) 26
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ, (ΠΗΓΗ: ELLEN MACARTHUR 2014) 27
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΧΑΡΤΟΥ (ΠΗΓΗ: ELLEN MACARTHUR 2014) 29
ΕΙΚΟΝΑ 7: Ο ΣΥΜΒΙΩΤΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΑΣ 3-2 (ΠΗΓΗ: CHERTOW 2007) 34
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΤΟ ΣΥΜΒΙΩΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ KALUNDBORG (ΠΗΓΗ KALUNDBORG SYMBIOSIS) 37
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΒΗΜΑΤΩΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΥΜΒΙΩΣΗΣ 47
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΒΑΣΗΣ 67
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 73
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 83
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΘΕ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ 97
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΆΜΕΣΩΝ-ΈΜΜΕΣΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ. ΒΑΣΗΣ 98
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 103
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΘΕ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 109
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΙΜΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 111
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 113
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΙΜΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΤΡΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ 114
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΤΡΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ 115

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΜΕΙΩΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ, ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΤΟ KALUNDBORG ΤΟ ΕΤΟΣ 1999 (ΠΗΓΗ: (HELLENIC INDUSTRIAL DEVELOPMENT BANK, 2000) 38
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΚΛΑΔΟΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΠΟΥ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗ ΒΙ.ΠΕ.Θ. (ΠΗΓΗ: HELLENIC INDUSTRIAL DEVELOPMENT BANK, 2000) 44
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΙΘΑΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ 49
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ 49
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 50
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΖΥΘΟΠΟΙΙΑΣ (ΑΝΑ ΤΟΝΟ ΖΥΘΟΥ) 59
ΠΊΝΑΚΑΣ 7: ΔΕΔΟΜΈΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΊΑΣ 62
ΠΊΝΑΚΑΣ 8: ΔΕΔΟΜΈΝΑ ΚΜΕΥΑ 65
ΠΊΝΑΚΑΣ 9: ΚΛΑΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΖΥΘΟΠΟΙΙΑΣ 68
ΠΊΝΑΚΑΣ 10: ΚΛΑΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΚΜΕΥΑ 69
ΠΊΝΑΚΑΣ 11: ΚΛΑΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ 69
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ 76
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ 78
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 ΚΛΑΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΜΑΧ 79
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΚΛΑΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ 79
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ 1 KG NOX ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ 86
ΠΊΝΑΚΑΣ 17: ΣΥΣΤΑΣΗ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΖΥΘΟΓΛΕΥΚΟΥΣ 87
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΖΥΘΟΓΛΕΥΚΟΥΣ 88
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 89
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ 90
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ Α' ΥΛΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ 92
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΖΥΘΟΠΟΙΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ 94
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ 95
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΜΕΥΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ 95
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ 96
ΠΊΝΑΚΑΣ 26: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ. ΠΗΓΗ (INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCES LEIDEN UNIVERSITY, 2015) 99
ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΒΑΣΗΣ 100

ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 _____ 101
ΠΙΝΑΚΑΣ 29: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 _____ 102
ΠΙΝΑΚΑΣ 30: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 _____ 102
ΠΙΝΑΚΑΣ 31: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 _____ 104
ΠΙΝΑΚΑΣ 32: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΑΧ _____ 105
ΠΙΝΑΚΑΣ 33: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΗΘ _____ 105
ΠΙΝΑΚΑΣ 34: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΑΧ & ΣΗΘ _____ 106
ΠΙΝΑΚΑΣ 35: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 _____ 106
ΠΙΝΑΚΑΣ 36: : ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΜΕΥΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 _____ 107
ΠΙΝΑΚΑΣ 37: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΖΥΘΟΠΟΙΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 _____ 107
ΠΙΝΑΚΑΣ 38: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 _____ 108
ΠΙΝΑΚΑΣ 39: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 _____ 108
ΠΙΝΑΚΑΣ 40: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΙΜΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 _____ 110
ΠΙΝΑΚΑΣ 41: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΙΜΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 _____ 112

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος για την ανάπτυξη και την αξιολόγηση σεναρίων βιομηχανικής συμβίωσης. Η βιομηχανική συμβίωση θεωρείται ένα μέσο για την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας και της αειφορίας των βιομηχανικών συστημάτων.

Ο αλγόριθμος που προτείνεται στην παρούσα εργασία στηρίζεται στην ανάλυση των ρευμάτων εισροών και εκροών των μονάδων του συστήματος που εξετάζεται, για την ανεύρεση πιθανών συνεργειών. Αναζητούνται πιθανές συμβιωτικές δράσεις μεταξύ των βιομηχανικών μονάδων, στη βάση της συμβατότητας των ρευμάτων τους, και αναπτύσσονται εναλλακτικά συμβιωτικά σενάρια. Τα σενάρια αυτά αξιολογούνται ως προς την αποδοτικότητά τους στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται με τη χρήση έντεκα περιβαλλοντικών δεικτών, οι οποίοι υπολογίζονται με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis).

Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται σε μία εικονική βιομηχανική περιοχή, στην οποία εδράζονται χαρακτηριστικές βιομηχανικές μονάδες που υπάρχουν στο ελλαδικό χώρο. Αναπτύσσονται και αξιολογούνται δύο εναλλακτικά σενάρια βιομηχανικής συμβίωσης. Στο πρώτο συμβιωτικό σενάριο πραγματοποιείται ανταλλαγή ρευμάτων μεταξύ των υπαρχόντων μονάδων. Ενώ, το δεύτερο συμβιωτικό σενάριο περιλαμβάνει την εισαγωγή νέων μονάδων στο σύστημα, με στόχο την τροποποίηση του υφιστάμενου συμβιωτικού δικτύου.

Η αξιολόγηση των συμβιωτικών σεναρίων δείχνει ότι οι συμβιωτικές επεμβάσεις συνεισφέρουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης του εξεταζόμενου συστήματος, ενισχύοντας την κυκλική οικονομία και την αειφορία.

Λέξεις κλειδιά: Βιομηχανική συμβίωση, κυκλική οικονομία, αειφόρος ανάπτυξη, συστημική θεώρηση

ABSTRACT

The current thesis presents an algorithm for the development and assessment of industrial symbiosis scenarios. Industrial symbiosis is considered a means to enhance circular economy and strengthen the sustainability in industrial production processes.

The proposed algorithm focuses on the analysis of the input/output flows of the industrial units of the study system, and identifies potential symbiotic actions on the basis of compatibility of the examined flows. According to the potential symbiotic actions, alternative symbiotic scenarios are developed. The symbiotic scenarios are assessed with regard to their anticipated contribution in the reduction of the system's environmental impacts. The assessment is performed using eleven environmental indicators estimated using the Life Cycle Analysis method.

The proposed algorithm is applied in a virtual industrial park, which comprises typical Greek industrial units. Two alternative industrial symbiosis scenarios are being formulated. In the first scenario flow exchanges among the existing industrial units take place, while the second symbiotic scenario concerns the introduction of new units into the system, in order to modify and enhance the existing symbiotic network.

The assessment of the symbiotic scenarios shows that the environmental performance of the examined system is improved, as the developed symbiotic networks enhance the circular economy and the sustainability of industrial processes.

Keywords: Industrial symbiosis, circular economy, sustainable development, systemic approach.

1 Εισαγωγή

1.1 Στόχος και αντικείμενο εργασίας

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση μιας μεθόδου που προτείνει σχήματα συμβιωτικών δράσεων σε μία βιομηχανική περιοχή και η δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης αυτών των συμβιωτικών δράσεων. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται στη βάση περιβαλλοντικών κριτηρίων. Η ανάπτυξη μορφών κυκλικής οικονομίας και δικτύων βιομηχανικής συμβίωσης συμβάλει στην ενίσχυση της αειφόρου ανάπτυξης ενισχύοντας έτσι την ευημερία σε βάθος γενεών. Η προστιθέμενη αξία της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο συνδυασμός της συστημικής θεώρησης, που είναι δομικό στοιχείο των θεωρητικών πλαισίων της βιομηχανικής συμβίωσης και της κυκλικής οικονομίας, με την αξιολόγηση και ανάπτυξη προτάσεων συμβιωτικών δικτύων. Πραγματοποιείται επίσης, προσπάθεια δημιουργίας μία μεθόδου που βήμα-βήμα θα βρίσκει πιθανές συμβιωτικές δράσεις σε μία βιομηχανική περιοχή.

1.2 Δομή εργασίας

Στο 1^{ο} κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση της θεωρίας που έχει παραχθεί γύρω από την αειφόρο ανάπτυξη, την κυκλική οικονομία και την βιομηχανική συμβίωση. Παρατίθενται παραδείγματα βιομηχανικής συμβίωσης και διατυπώνονται ερωτήματα σχετικά με τη δυνατότητα ανάπτυξης κυκλικής οικονομίας και βιομηχανικής συμβίωσης στον ελλαδικό χώρο. Στο 2^{ο} κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία ανεύρεσης συμβιωτικών δράσεων και δημιουργίας εναλλακτικών δικτύων συμβίωσης. Στο 3^{ο} κεφάλαιο πραγματοποιείται αξιολόγηση των συμβιωτικών σεναρίων και σύγκρισή τους με το Σενάριο Βάσης. Στο 4^{ο} κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα.

1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

1.3.1 Η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης

Ο όρος "αειφόρος ανάπτυξη" χρησιμοποιείται για να περιγράψει εκείνη την οικονομική ανάπτυξη που στοχεύει στη διατήρηση και ενίσχυση της κοινωνικής ευημερίας. Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας της αειφόρου ανάπτυξης, πραγματοποιείται μία ιστορική ανάδρομη στην εξέλιξη των δύο συνθετικών που την αποτελούν, δηλαδή της αειφορίας και της ανάπτυξης.

Η σταθερή οικονομική **ανάπτυξη** εμφανίζεται για πρώτη φορά ως έννοια κατά τους ελληνιστικούς χρόνους και τη ρωμαϊκή εποχή, (Nisbet, 1980). Η τομή στην έννοια της ανάπτυξης, αλλά και της ιστορίας, συντελείται με την εβραϊκή και χριστιανική θεολογική αντίληψη για τη γραμμικότητα του χρόνου και της εξέλιξης ως μία σειρά διαδοχικών γεγονότων, (Von Wright, 1997). Η χριστιανική φιλοσοφία θεωρεί την πρόοδο ως το συνεχές ξετύλιγμα ενός θείου σχεδίου, που ξεκινάει με την αρχή της ιστορίας, τη γένεση, και κορυφώνεται με την ιδέα της σταδιακής πνευματικής ανύψωσης του ανθρώπου και την αποκάλυψη (Du Pisani, 2006). Κατά το μεσαίωνα εντείνεται η προσπάθεια βελτίωσης των συνθηκών ζωής σε αυτόν τον κόσμο, ως κομμάτι της προετοιμασίας για τον άλλον. Κυριαρχεί δηλαδή η αντίληψη ότι με την βελτίωση των υλικών όρων ζωής, που επιφέρει η πρόοδος, θα εξαλειφθεί η αμαρτία, η δυστυχία και ο φθόνος, ανοίγοντας το δρόμο για τη βασιλεία των ουρανών. Στην Ευρώπη έχουν, μέχρι το 13^{ο} αιώνα, εδραιωθεί δύο κρίσιμες αντιλήψεις σχετικά με την πρόοδο και την ανάπτυξη. Η πρώτη είναι η παραδοχή της συσσωρευτικής προόδου του πολιτισμού, και η δεύτερη, η πίστη σε ένα μέλλον χρυσής εποχής της ηθικής για την ανθρωπότητα, (Nisbet, 1980).

Κατά τους επόμενους αιώνες, στη δυτική Ευρώπη, η πρόοδος και ο νεοτερισμός γίνονται σχεδόν ταυτόσημες έννοιες, (Von Wright, 1997). Αν και κατά την αναγέννηση εμφανίστηκε η ιδέα της κυκλικής επανάληψης, οι διανοητές της Μεταρρύθμισης επικράτησαν και επανέφεραν την πίστη στη

γραμμική ανάπτυξη της κοινωνίας. Ο Γάλλος επιστήμονας Fontenelle αναφέρει στο έργο του «*Η μεγάλη ιδέα της Προόδου*» ότι «*η ανθρωπότητα με τη νέα επιστήμη και τη βελτίωση της τεχνολογίας είχε μπει στο δρόμο της αναγκαίας και απεριόριστης προόδου*», (Von Wright, 1997). Κατά τη διάρκεια του Διαφωτισμού, και στα επόμενα χρόνια, η ιδέα της προόδου έφθασε στο αποκορύφωμά της στο δυτικό πολιτισμό. Ως αποτέλεσμα των εργασιών των Turgot, Condorcet, Saint-Simon, Comte, Hegel, Marx, Spencer και πολλών άλλων έγινε η κυρίαρχη ιδέα της περιόδου, (Nisbet, 1980). Η σύνδεση μεταξύ της προόδου και της σύγχρονης επιστήμης, που πλέον είναι σαφής και εμπειρική, εδραιώθηκε. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω ενισχύθηκε η πεποίθηση ότι η επιστήμη ήταν η χρυσή λεωφόρος προς το μέλλον που θα δώσει στην ανθρωπότητα την κυριαρχία πάνω στη φύση, (Von Wright, 1997).

Καθώς η κυριαρχία της βιομηχανικής επανάστασης επεκτεινόταν σε παγκόσμιο επίπεδο, μετασχηματίζοντας αμετάκλητα τις ανθρώπινες κοινωνίες, η πρόοδος συνδέθηκε με την οικονομική ανάπτυξη και την τεχνολογική εξέλιξη. Ο Worster (Worster, 1993) περιγράφει αυτό που προκάλεσε η βιομηχανοποίηση ως «την σπουδαιότερη σε προοπτικές επανάσταση που έχει ποτέ συμβεί». Οδήγησε τους ανθρώπους να σκεφτούν πως είναι καλό για τους ιδίους να κυριαρχούν πάνω στη φυσική τάξη και να μεταμορφώνουν δραστικά τους φυσικούς πόρους σε καταναλωτικά αγαθά, πως είναι απαραίτητο και αποδεκτό να λεηλατηθεί η φύση στην προσπάθεια επίτευξης μέγιστων οικονομικών αποτελεσμάτων και πως μόνο ό,τι παράγεται από τη βιομηχανία και διατίθεται προς πώληση στην αγορά έχει αξία, (Du Pisani, 2006).

Η έννοια της νομοτελειακής προόδου και του δυνητικού οφέλους, που εκείνη θα προσφέρει, μορφοποιήθηκε το 19^{ο} από τον Auguste Comte και τα γραπτά του περί της θετικής φιλοσοφίας. Οι Comte, Hegel, Marx, Spencer και άλλοι φιλόσοφοι της περιόδου περιέγραψαν τη μη αναστρέψιμη, βήμα προς βήμα, και ασταμάτητη πρόοδο της ανθρωπότητας, μέσω διαδοχικών σταδίων στη χρυσή εποχή της Γης. Κυριαρχούσε η αισιοδοξία ότι η επιστημονική και

τεχνολογική πρόοδος μπορούσαν να οδηγήσουν στην ηθική ανάταση της ανθρωπότητας, (Nisbet, 1980). Η έννοια της προόδου σταδιακά απέκτησε κοσμικό χαρακτήρα, μεταπηδώντας από την ιδέα της προόδου, που είναι θεϊκά- χειροτονημένη και έχει ως κατεύθυνση τη μετά θάνατο γη της επαγγελίας, στην πρόοδο που στοχεύει στη βελτίωση της επίγειας ζωής με την εγγύηση της επιστημονικής και τεχνολογικής εξέλιξης, (Mitcham, 1995). Η πίστη στην πρόοδο της ανθρωπότητας ήταν σχεδόν καθολική στους κύκλους της διανόησης, από το δεύτερο μισό του 18^{ου} αιώνα ως το πρώτο μισό του 20^{ου}. Για την συντριπτική πλειοψηφία των δυτικών η πρόοδος δεν ήταν ένα ατύχημα αλλά μία αναγκαιότητα, (Spencer, 1907).

Υπήρχε ωστόσο και η λιγότερο αισιόδοξη πλευρά. Η εδραίωση του καπιταλισμού και η εξάπλωση της βιομηχανίας δεν ήταν για όλους η απόλυτη ευλογία. Καθώς τα οφέλη και οι αμοιβές της παγκόσμιας οικονομίας έρεαν κυρίαρχα στις βιομηχανικές χώρες, το κενό μεταξύ των πλούσιων και των φτωχών κοινωνιών διευρύνθηκε. Από ένα σημείο και ύστερα, η άνιση κατανομή του πλούτου θα γίνει ένα βασικό ζήτημα στη συζήτηση για την ανάπτυξη της αειφορίας. Ένα άλλο ζήτημα άμεσα συνδεδεμένο με τη βιομηχανική ανάπτυξη, το όποιο μάλιστα αρχικά δεν έγινε κατανοητό στην πλήρη διάστασή του, ήταν η περιβαλλοντική υποβάθμιση που προκαλούσε η χωρίς προηγούμενο και σε παγκόσμια κλίμακα εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Το ζήτημα αυτό θα ενισχύσει τις συζητήσεις σχετικά με την αειφορία, (Du Pisani, 2006).

Ο αγγλικός όρος για την **αειφορία** (sustainability) πρωτοεμφανίζεται στο λεξικό της Οξφόρδης το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. Η έννοια αυτή ωστόσο, απασχολεί την ανθρώπινη σκέψη για πολλούς αιώνες. Σύμφωνα με το Van Zon, η ζήτηση για πρώτες ύλες και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από αυτήν ήταν ένα συνεχές πρόβλημα καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας, (Du Pisani, 2006). Αρχαίοι πολιτισμοί από την Μεσοποταμία και την Αίγυπτο έως την Ελλάδα και τη Ρώμη αντιμετώπιζαν προβλήματα, όπως η αποψίλωση των δασών, υφαλμύρωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων με αποτέλεσμα την

απώλεια γονιμότητάς τους. Τα προβλήματα αυτά σήμερα θα τα εξετάζαμε υπό το πρίσμα της αειφορίας. Αρχαίοι συγγραφείς, όπως ο Πλάτωνας και ο Στράβωνας, ασχολούνται στα έργα τους με περιπτώσεις περιβαλλοντικής υποβάθμισης, λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, όπως η καλλιέργεια, η υλοτομία και η εξόρυξη μεταλλευμάτων (π.χ. τα μεταλλεία του Λαυρίου). Οι συγγραφείς αυτοί όχι μονό είχαν επίγνωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης που προκαλούσε η ανθρώπινη δραστηριότητα, αλλά πρότειναν και αυτό που σήμερα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί «*μορφές αειφόρου ανάπτυξης*» για να διατηρηθεί το φυσικό περιβάλλον αμετάβλητο, (Du Pisani, 2006).

Η έννοια της αειφορίας με τη σημερινή της σημασία χρησιμοποιείται πρώτη φορά στη Γερμανία στον τομέα της δασοκομίας. Συγκεκριμένα ο Hans Carl von Carlowitz το 1713, στο έργο του *Sylvicultura Oeconomica*, προτείνει την αειφόρο χρήση των δασικών πόρων, δηλαδή τη διατήρηση μιας ισορροπίας μεταξύ των γηραιότερων δέντρων που υλοτομούνται και των νεότερων που θα τα αντικαταστήσουν, (Du Pisani, 2006). Μερικοί άλλοι ειδικοί στη δασοκομία, όπως οι Marchand και Wilhelm Gottfried Moser, επισήμαιναν πως η υπέρμετρη κατανάλωση ξυλείας θα είχε αρνητικές συνέπειες για τις μελλοντικές γενιές. Ο λόγος που οι πρώτες συγκροτημένες σκέψεις σχετικά με την αειφορία παρουσιάζονται στον τομέα της δασοκομίας κάθε άλλο παρά τυχαίος είναι. Αυτός ο κλάδος κατά το 18^{ο} αιώνα δέχθηκε τεράστιες πιέσεις, καθώς η ξυλεία ήταν βασικό καύσιμο, χρησιμοποιούταν κατά κόρο στη ναυπήγηση πλοίων αλλά και στην εξόρυξη.

Κατά το τέλος του 18^{ου} αιώνα άρχισαν να εκφράζονται οι πρώτες ανησυχίες σχετικά με την εξάντληση των πόρων λόγω της αύξησης του πληθυσμού. Συγκεκριμένα, ο Thomas Robert Malthus πρότεινε περιορισμούς στην αύξηση του πληθυσμού γιατί διαφορετικά θα εμφανιζόταν έλλειψη σε είδη διατροφής. Κατά το 19^{ο} αιώνα με την έλευση της βιομηχανικής επανάστασης και των μηχανών εσωτερικής καύσης η προσοχή μετατοπίστηκε στο κάρβουνο. Η μελέτη του (Jevons, 1886) με τίτλο "*The coal question",* συμπεραίνει πως αν η αλόγιστη χρήση κάρβουνου συνεχιστεί με τον ίδιο ρυθμό, τότε τα αποθέματα

της Αγγλίας σε κάρβουνο θα εξαντληθούν μέσα σε μία εκατονταετία με αποτέλεσμα η χώρα να χάσει την κυρίαρχη θέση της στη βιομηχανική παράγωγη. Την ίδια περίοδο στη Γερμανία ο Rudolf Clausius ισχυρίζεται πως φυσικοί πόροι, όπως ο άνθρακας, δεν πρέπει να σπαταλούνται διότι είναι μη-ανανεώσιμοι, (Du Pisani, 2006).

Είναι λοιπόν σαφές, πως έναν αιώνα πριν η έννοια της «αειφόρου ανάπτυξης» εμφανιστεί επίσημα στην παγκόσμια σφαίρα συζήτησης, μέρη ή και ολόκληρο το φάσμα της φαίνεται να απασχολεί τις ποιο ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες. Με άλλα λόγια, ενώ βρισκόμαστε ακόμα στο πρωταρχικό στάδιο συσσώρευσης του κεφαλαίου, η ένταση και η έκταση της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων γεννά προβληματισμούς. Με την περαιτέρω ανάπτυξη του καπιταλισμού και τον ανταγωνισμό μεταξύ των βιομηχανικών κρατών ανατέλλει ο 20^{ος} αιώνας. Η ανακάλυψη του πετρελαίου διαμορφώνει νέες παγκόσμιες ισορροπίες και η είσοδος του καπιταλισμού στο ανώτερο ιμπεριαλιστικό στάδιο γεννά τους δύο παγκοσμίους πολέμους. Ο έλεγχος των φυσικών πόρων και η οικονομική ανάπτυξη αποτελούν κυρίαρχους στόχους. Στο πλαίσιο αυτό η συζήτηση σχετικά με την αειφορία παραμερίζεται από τη δημόσια σφαίρα συζήτησης αλλά παραμένει ενεργή σε ορισμένους επιστημονικούς κύκλους. Η επάνοδος θα πραγματοποιηθεί στα μέσα του προηγούμενου αιώνα με μία σειρά έργων των Egbert de Vries, William Vogt, Henry Fairfield Osborn, οι οποίοι επισήμαναν τους κινδύνους που προκαλεί η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων στην ίδια την ύπαρξη των πολιτισμένων κοινωνιών. Ο (Kapp, 1950), δημοσιεύει μία ανάλυση των περισσοτέρων περιβαλλοντικών ζητημάτων, που αποτελούν μέχρι σήμερα κομμάτι της συζήτησης σχετικά με την αειφόρο ανάπτυξη.

Στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα η συζήτηση γύρω από την αειφόρο ανάπτυξη θα ενταθεί. Σημείο κλειδί αυτής της πορείας ήταν η Έκθεση της Brundtland το 1987, στην οποία θα δοθεί για πρώτη φορά ένας κοινά αποδεκτός ορισμός για την αειφόρο ανάπτυξη, αλλά και θα τεθούν μία σειρά στόχων σχετικά με την επίτευξή της, (Du Pisani, 2006).

1.3.2 Ορισμός της αειφόρου ανάπτυξης

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για την έννοια της αειφόρου ή βιώσιμης ανάπτυξης, αλλά ο πιο συχνά αναφερόμενος και ευρέως αποδεκτός προέρχεται από το *«Κοινό μας μέλλον»*, ή όπως αλλιώς έχει ονομαστεί *«Έκθεση του Brundtland»*. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό: «*Η αειφόρος ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες».* Η αειφόρος ανάπτυξη περιέχει δύο βασικές έννοιες*:*

- *«Την κάλυψη των αναγκών, ειδικότερα οι βασικές ανάγκες των φτωχών του κόσμου, στις οποίες πρέπει να δοθεί απόλυτη προτεραιότητα και*
- *Τους περιορισμούς που επιβάλλονται από την κατάσταση της τεχνολογίας και της κοινωνικής οργάνωσης επί της δυνατότητας του περιβάλλοντος να ανταποκριθεί στις παρούσες και μελλοντικές ανάγκες»* (World Commission on Environment and Development, 1987).

Άλλοι ορισμοί είναι οι παρακάτω:

- *«Βιώσιμη ανάπτυξη είναι η βελτίωση της ποιότητας της ζωής μέσα στα πλαίσια της φέρουσας ικανότητας των υποστηρικτικών οικοσυστημάτων»* (United Nation Environment Programme, 1991)*.*
- *«Βιώσιμη ανάπτυξη σημαίνει να βασίζονται οι αναπτυξιακές και περιβαλλοντικές πολιτικές σε μία ανάλυση κόστους-οφέλους και σε μία προσεκτική οικονομική ανάλυση που θα ενδυναμώνει την περιβαλλοντική προστασία και θα οδηγεί σε αυξανόμενα και διατηρήσιμα επίπεδα ευημερίας»* (World Bank, 1991)*.*

Μια έννοια όπως η αειφόρος ανάπτυξη δεν είναι εύκολο να οριστεί με ακρίβεια, και ως εκ τούτου προκύπτουν αρκετοί ορισμοί που έχουν διαφορές και ομοιότητες μεταξύ τους. Υπάρχουν ωστόσο, ορισμένα σημεία που καθορίζουν αυτή την έννοια, και αφορούν στη δυνατότητα κάλυψης των

βασικών αναγκών, όχι μόνο στο παρόν αλλά και στο διηνεκές, λαμβάνοντας υπόψη την αειφορία τριών επιμέρους σφαιρών: της οικολογίας, της οικονομίας και της κοινωνίας.

1.3.3 Οι τρεις διαστάσεις της αειφόρου ανάπτυξης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η αειφόρος ανάπτυξη βασίζεται σε τρεις σφαίρες ή πυλώνες: το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία (Εικόνα 1).

Εικόνα 1: Οι τρεις πυλώνες της αειφόρου ανάπτυξης (Πηγή: Τιτάν Α.Ε.)

Περιβαλλοντικός πυλώνας

Στον περιβαλλοντικό πυλώνα περιλαμβάνονται η προστασία του περιβάλλοντος, η διατήρηση της βιοποικιλότητας, η πρόληψη και μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, και η προώθηση αειφόρων προτύπων κατανάλωσης και παραγωγής (United Nations World Summit, 2005).

Οικονομικός πυλώνας

Ο οικονομικός πυλώνας αφορά στην οικονομική ευημερία. Στόχος είναι η ευημερία να επιτυγχάνεται μέσω της προώθησης μιας ακμάζουσας, καινοτόμου, πλούσιας σε γνώσεις, ανταγωνιστικής και οικολογικά αποτελεσματικής οικονομίας, που να εξασφαλίζει υψηλό επίπεδο ζωής, πλήρη απασχόληση και ποιότητα εργασίας (United Nations World Summit, 2005).

Κοινωνικός πυλώνας

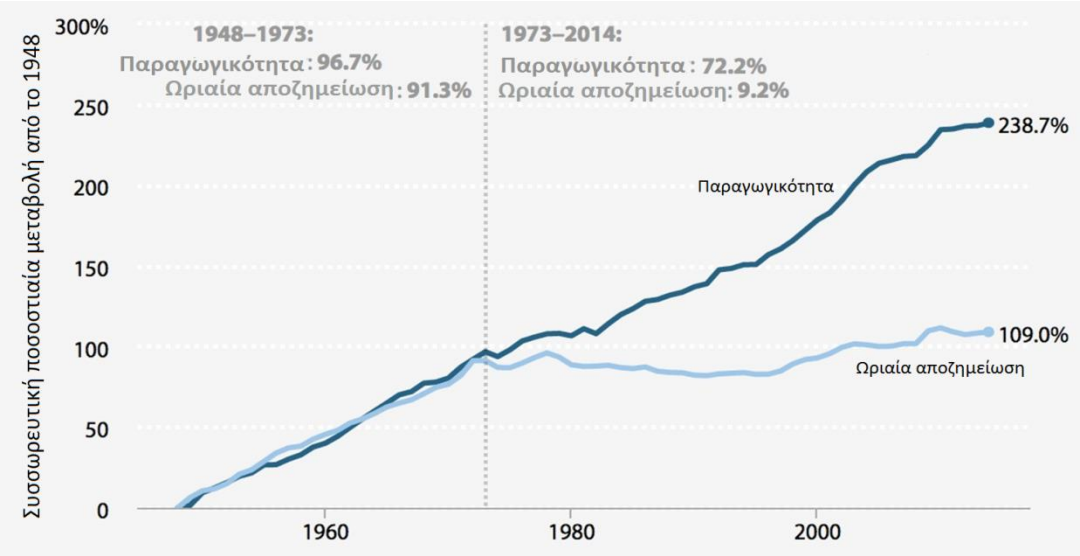
Ο κοινωνικός πυλώνας βασίζεται στην κοινωνική δικαιοσύνη και συνοχή. Στοχεύει στην προώθηση μιας δημοκρατικής, υγιούς, ασφαλούς και δίκαιης κοινωνίας, που βασίζεται στην κοινωνική ένταξη και τη συνοχή, σέβεται τα θεμελιώδη δικαιώματα και την πολιτιστική ποικιλομορφία, διασφαλίζει την ισότητα ανδρών και γυναικών και καταπολεμά κάθε μορφή διάκρισης (United Nations World Summit, 2005).

Για την επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης είναι απαραίτητο οι τρείς πυλώνες να αναπτύσσονται εξίσου και να αλληλεπιδρούν με συγκεκριμένο τρόπο μεταξύ τους. Ο περιβαλλοντικός και ο οικονομικός πυλώνας χρειάζεται να υπηρετούν την κοινή τους βιωσιμότητα. Ο οικονομικός και ο κοινωνικός πυλώνας να πρέπει να αναπτύσσονται με γνώμονα την δικαιοσύνη. Ο κοινωνικός και ο περιβαλλοντικός πυλώνας πρέπει να αναπτύσσονται

λαμβάνοντας υπόψη την κοινή τους «υποφερτή» συνύπαρξη. Η αειφόρος ανάπτυξη είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των τριών παραπάνω αλληλεπιδράσεων.

Ανάγκη για υιοθέτηση των στόχων της αειφόρου ανάπτυξης

Αν και η θεωρία της αειφόρου ανάπτυξης μετρά πλέον 30 χρόνια ζωής, λίγα βήματα έχουν γίνει ως προς την επίτευξη των στόχων της. Ο κοινωνικός πυλώνας είναι αυτός που εμφανίζει τη μεγαλύτερη υστέρηση. Οι οικονομικές, ανισότητες συνεχίζουν να οξύνονται πάρα τις ορισμένες θετικές ενδείξεις. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του ΟΗΕ (United Nations Development Programm, 2014), το 21% του πληθυσμού ζει σε συνθήκες ακραίας φτώχειας με λιγότερο από ένα δολάριο τη μέρα, ποσοστό σαφώς μειωμένο σε σχέση με το 43% του 1990. Το 50% των κερδών κατανέμεται στο πλουσιότερο 5% του πληθυσμού, ενώ στο φτωχότερο 10% του πληθυσμού δεν φτάνει σχεδόν τίποτα, χαρακτηριστικό είναι ότι το 1/3 του πληθυσμού των αναπτυσσόμενων χωρών ζει σε παραγκουπόλεις. Σημείο κλειδί για την κατανόηση των οικονομικών ανισοτήτων είναι η Εικόνα 2, που προέρχεται από την έκθεση του Economic Policy Institute των ΗΠΑ., και δείχνει το όλο και εντεινόμενο χάσμα ανάμεσα στην παραγωγικότητα και την αμοιβή της εργασίας.



Εικόνα 2 Γράφημα παραγωγικότητας και αμοιβής εργασίας από το 1948 ως το 2014. Πηγή: (Economic Policy Institute, 2014)

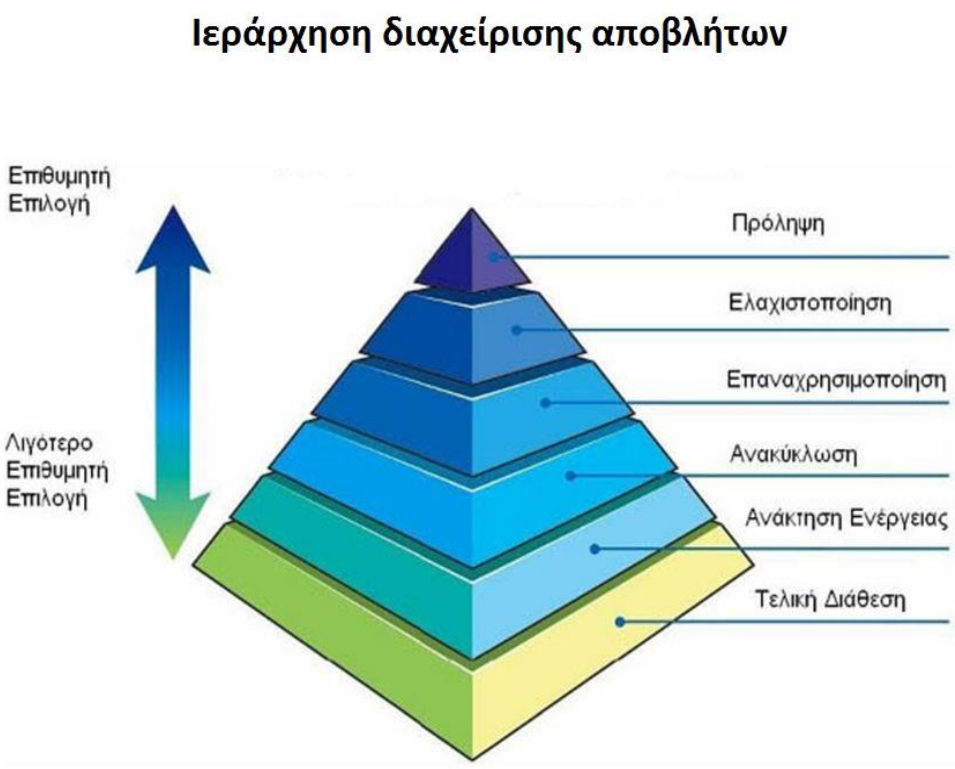
Στον περιβαλλοντικό πυλώνα η κατάσταση είναι επίσης προβληματική. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί κατά 50% σε σχέση με το 1990 και η παγκόσμια οικονομία παραμένει εξαρτημένη από τα ορυκτά καύσιμα, (United Nations, 2014). Θετικό σημείο αποτελεί η Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος έχει μειωθεί εντυπωσιακά. Στον οικονομικό πυλώνα η ανισόμετρη ανάπτυξη είναι το κύριο ζήτημα σε έναν κόσμο που ψάχνει τον βηματισμό μετά την κρίση του 2009. Συνεπώς, πολλά είναι αυτά που μένουν να γίνουν για να θεωρηθεί πως μετράμε βήματα προς την αειφορία. Η ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας είναι πιθανό να οδηγήσει προς την αειφόρο ανάπτυξη.

1.3.4 Θεωρήσεις για την αειφόρο ανάπτυξη

Η επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης έχει απασχολήσει την παγκόσμια κοινότητα και έχουν αναπτυχθεί αρκετές σχολές σκέψης για να προσεγγίσουν αυτόν το στόχο. Οι σημαντικότερες εξ αυτών παρατίθενται παρακάτω.

Reduce – Reuse – Recycle (3Rs) (Μείωση-Επαναχρησιμοποίηση-Ανακύκλωση)

Η σχολή σκέψης των 3Rs στοχεύει στη Μείωση-Επαναχρησιμοποίηση-Ανακύκλωση των αποβλήτων. Αυτή η προσέγγιση περιβαλλοντικής διαχείρισης, υιοθετήθηκε 1975 από την Ευρωπαϊκή Ένωση και ενσωματώθηκε στην Ευρωπαϊκή Οδηγία διαχείρισης αποβλήτων του ίδιου έτους. Αυτή η προσέγγιση δίνει έμφαση στα απόβλητα (waste oriented), και προτείνει ένα σύστημα ιεράρχησης της διαχείρισης των αποβλήτων (Hierarchy of Waste Management) (Hansen, Christopher, & Verbuecheln, 2002). Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Ιεράρχηση διαχείρισης αποβλήτων. Πηγή: (Hansen, Christopher, & Verbuecheln, 2002)

Resource efficiency (αποδοτική χρήση πόρων)

Η προσέγγιση της χρήσης πόρων με αποδοτικό τρόπο θέτει στο επίκεντρο τη χρήση των πόρων και όχι τη διαχείριση των αποβλήτων. Αυτή είναι και η ουσιαστική της διαφορά από τη σχολή σκέψης 3Rs. Η προσέγγιση αυτή εντάχθηκε στην πολιτική ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2011. Σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «*Χάρτης πορείας για μία αποδοτική, από άποψη πόρων, Ευρώπη*» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011), το όραμα για την οικονομική ανάπτυξη της Ευρώπης μέχρι το 2050 είναι: «*η οικονομία της ΕΕ αναπτύσσεται σεβόμενη τους περιορισμούς από πλευράς πόρων και τα πλανητικά όρια, συμβάλλοντας έτσι στον παγκόσμιο οικονομικό μετασχηματισμό. Η οικονομία μας είναι ανταγωνιστική, χωρίς αποκλεισμούς και εξασφαλίζει υψηλό βιοτικό επίπεδο με πολύ μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η διαχείριση όλων των πόρων, από τις πρώτες ύλες έως την ενέργεια, το νερό, τον ατμοσφαιρικό αέρα, τη γη και το έδαφος, πραγματοποιείται κατά τρόπο βιώσιμο. Τα ορόσημα της κλιματικής αλλαγής έχουν επιτευχθεί, ενώ η βιοποικιλότητα και οι οικοσυστημικές υπηρεσίες που στηρίζει προστατεύονται και έχουν αποτιμηθεί και αποκατασταθεί σε σημαντικό βαθμό*».

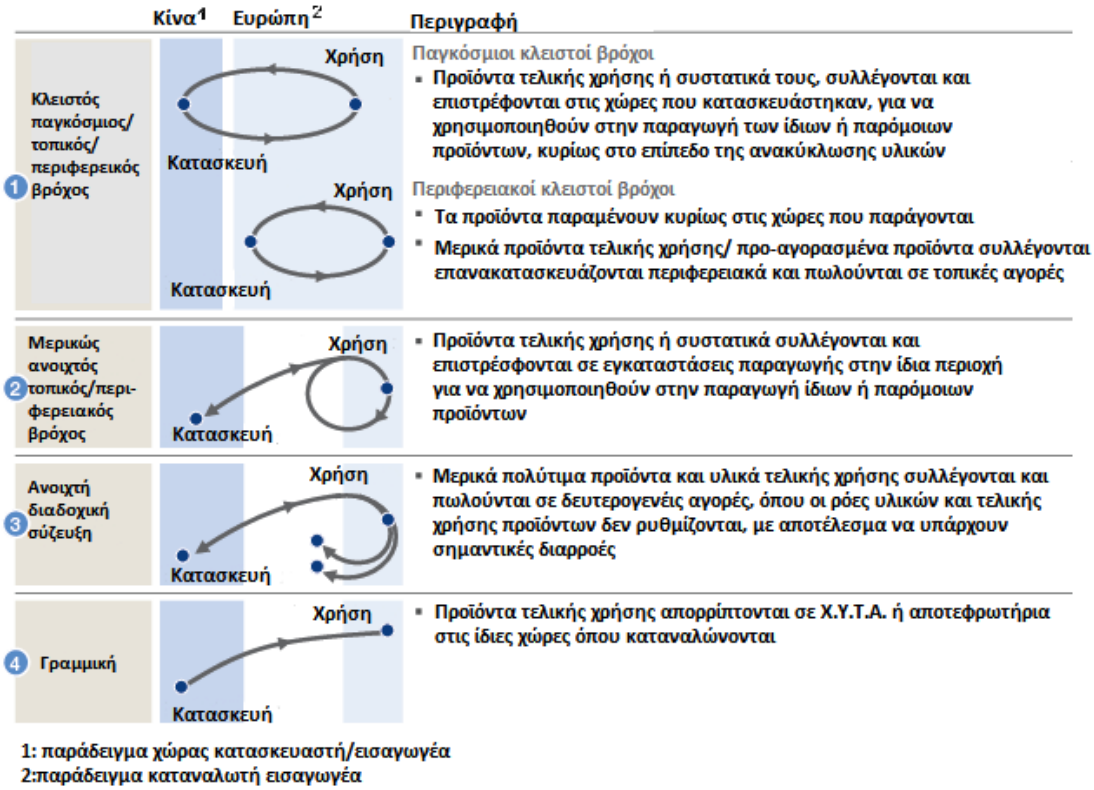
Κυκλική Οικονομία (Circular economy)

Το κυκλικό μοντέλο είναι μία βιομιμητική προσέγγιση προς την αειφορία. Αυτή η σχολή σκέψης έχει ως παράδειγμα τη φύση, και θεωρεί ότι τα συστήματά παραγωγής και κατανάλωσης θα έπρεπε να λειτουργούν όπως οι φυσικοί οργανισμοί, επαναχρησιμοποιώντας τα υλικά και τους πόρους που απελευθερώνουν στο περιβάλλον (Κυκλική Οικονομία). Η κυκλική οικονομία θα αναλυθεί στις επόμενες ενότητες, καθώς η βιομηχανική συμβίωση, που είναι και το κέντρο της εργασίας, αποσκοπεί στην ενίσχυση αυτής της σχολής σκέψης.

1.3.5 Κυκλική οικονομία

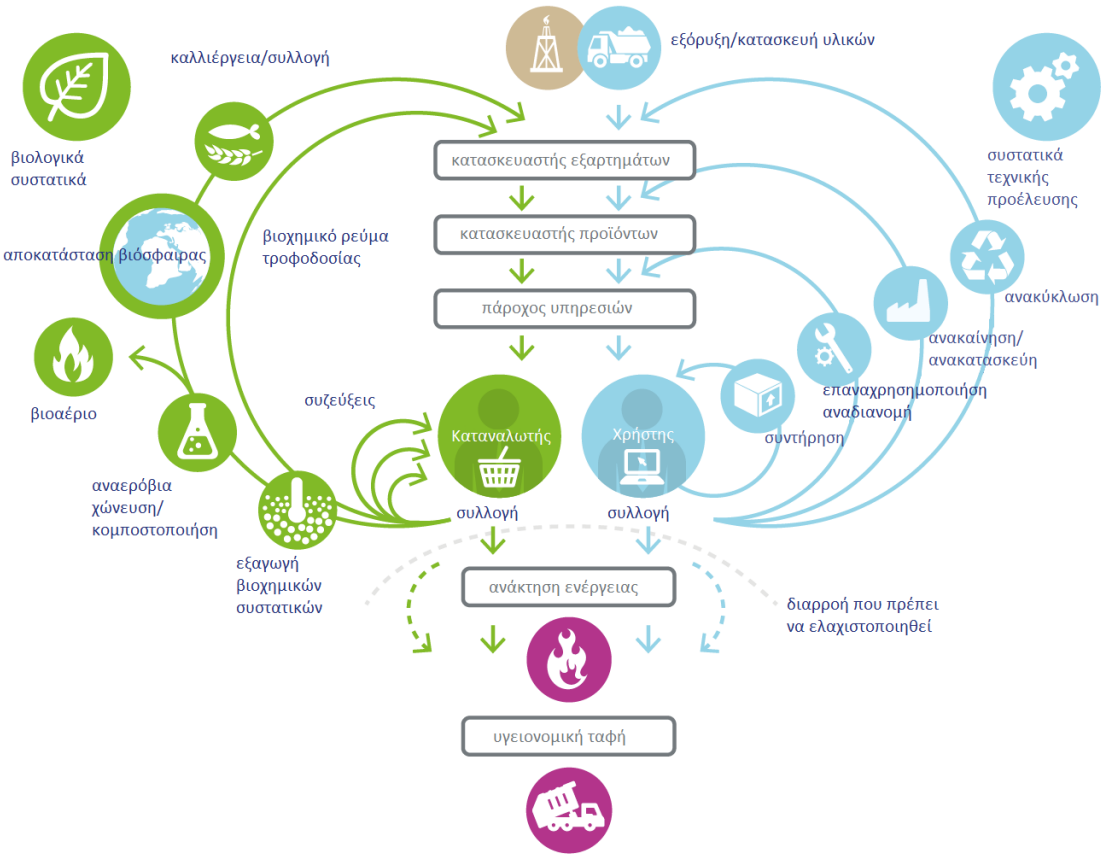
Θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η κυκλική οικονομία ενσωματώνει τις δύο θεωρήσεις των 3Rs και της αποδοτικής χρήσης πόρων, καθώς για την ενίσχυσή της χρειάζεται τόσο η βέλτιστη διαχείριση των αποβλήτων όσο και η αποδοτική χρήση των πόρων, (McKinsey Center for Business and Environment, 2015). Η ειδοποιός διαφορά της κυκλικής οικονομίας από άλλες προσεγγίσεις που στοχεύουν στην επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης, έγκειται στην αμφισβήτηση του κυρίαρχου μοντέλου διαχείρισης πόρων που διαμορφώθηκε μετά τη βιομηχανική επανάσταση. Το μοντέλο αυτό βασιζόταν στο τρίπτυχο «εξαγωγή-κατασκευή-κατανάλωση και διάθεση», (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014). Με την εξάντληση των πόρων και την ένταση της ρύπανσης, έγινε σαφές πως αυτό το γραμμικό μοντέλο δεν είναι βιώσιμο. Η μετάβαση προς μία κυκλική θεώρηση της οικονομίας, που θα στοχεύει στην επανένταξη των αποβλήτων στην παραγωγική διαδικασία, θα κλείνει της ανοιχτές γραμμικές ροές (close loops) και θα αναγεννά τα φυσικά αγαθά, είναι απαραίτητη για την επίτευξη της αειφορίας (Ellen MacArthur Foundation, 2014).

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται διαφορετικά αρχέτυπα βρόχων της κυκλικής οικονομίας (κλειστοί / ανοιχτοί βρόγχοι), αριθμημένα σύμφωνα με την σειρά προτεραιότητας που προτείνει η κυκλική οικονομία.



Εικόνα 4 Σχηματική απεικόνιση αρχετύπων αλυσίδων μεταφοράς και βρόχων (Πηγή: Ellen MacArthur, 2014)

Για την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας, απαιτούνται αλλαγές σε ολόκληρη την αλυσίδα παραγωγής των προϊόντων και επανεξέταση της έννοιας του αποβλήτου. Σε μία κυκλική οικονομία τα προϊόντα σχεδιάζονται με σκοπό να ενεργοποιήσουν τους κύκλους της αποσυναρμολόγησης και της επαναχρησιμοποίησης, ως εκ τούτου τα απόβλητα ελαχιστοποιούνται ή εξαλείφονται, (Nguyen, Stuchtey, & Zils, 2014). Μία σχηματική απεικόνιση της κυκλικής οικονομίας παρατίθεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Σχηματική απεικόνιση κυκλικής οικονομίας, (Πηγή: Ellen Macarthur 2014)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, η κυκλική οικονομία χαρακτηρίζεται από εφαπτόμενους κύκλους στη βάση των οποίων βρίσκεται ο καταναλωτής/χρήστης. Η γραμμική αλυσίδα δεν παύει να υφίσταται, καθώς υπάρχει ακόμα η ανάγκη εξόρυξης πρώτων υλών και κατασκευής προϊόντων. Στο τέλος της γραμμικής αλυσίδας παραμένει η υγειονομική ταφή απορριμμάτων. Πλέον όμως υπάρχουν και όλες οι ροές συμβιωτικών δράσεων, που αποσκοπούν στη μείωση της παραγωγής υλικών και εξόρυξης πρώτων υλών, αλλά και στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων.

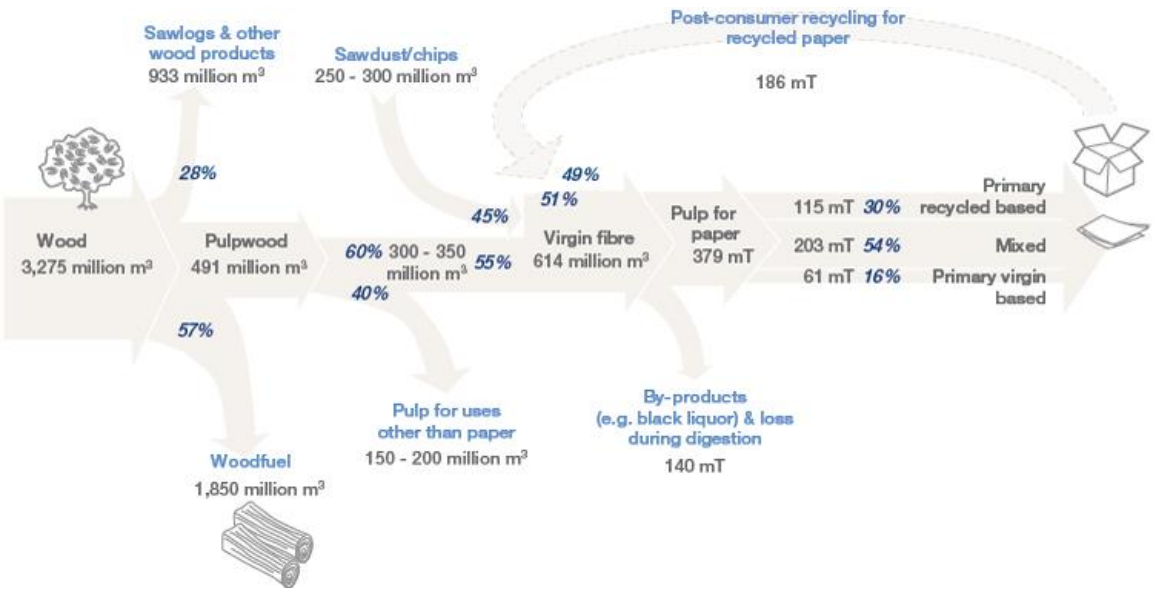
Η διαχείριση των προϊόντων τεχνικής προέλευσης πρέπει να περιλαμβάνει της ακόλουθες δράσεις κατά σειρά προτεραιότητας:

1. Συντήρηση από το χρήστη.
2. Επαναχρησιμοποίηση/αναδιανομή του προϊόντος, εφόσον διέρθει από τον πάροχο υπηρεσιών.
3. Ανακαίνιση/ανακατασκευή του προϊόντος από τον κατασκευαστή.
4. Ανακύκλωση του προϊόντος και χρήση του ως ρεύματος εισροής στον κατασκευαστή εξαρτημάτων.
5. Απόθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.), αφού πρώτα χρησιμοποιηθεί για πιθανή παραγωγή ενέργειας.

Αντίστοιχα, για τα προϊόντα βιολογικής προέλευσης πρέπει να επιλέγονται με σειρά προτεραιότητας οι δράσεις:

1. Βέλτιστη χρήση κατά την κατανάλωση.
2. Τροφοδοσία με βιοχημικά ρεύματα του σταδίου παραγωγής εξαρτημάτων.
3. Αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση των βιοδιασπώμενων ρευμάτων για την παραγωγή βιοαερίου, την αποκατάσταση της βιόσφαιρας και την επιστροφή στη βιόσφαιρα.
4. Υγειονομική ταφή των προϊόντων, αφού πρώτα χρησιμοποιηθούν για πιθανή παράγωγη ενέργειας.

Μια εφαρμογή των παραπάνω δράσεων διαχείρισης σε προϊόντα χάρτου (προϊόντα βιολογικής προέλευσης) παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Εφαρμογή κυκλικής οικονομίας σε προϊόντα χάρτου (Πηγή: Ellen Macarthur 2014)

Οι πέντε αρχές της κυκλικής οικονομίας, όπως προτάθηκαν από την Ellen Macarthur (Macarthur, 2013) είναι οι παρακάτω:

«*Κυκλική οικονομία είναι εκείνη που έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτυγχάνει την αποκατάσταση και να διατηρεί τα προϊόντα, τα συστατικά στοιχειά και τα υλικά στην ύψιστη δυνατή χρησιμότητα και αξία καθόλη τη διάρκεια της ζωής τους*

1. *Η κυκλική οικονομία είναι ένα παγκόσμιο οικονομικό μοντέλο που αποσυνδέει την οικονομική μεγέθυνση και ανάπτυξη από την κατανάλωση πεπερασμένων πόρων.*

2. *Διακρίνει και ξεχωρίζει τα υλικά τεχνικής και βιολογικής προέλευσης επιδιώκοντας να διατηρούνται στην υψηλότερη δυνατή αξία καθόλη τη διάρκεια ζωής τους .*

3. *Δίνει έμφαση στον αποδοτικό σχεδιασμό των διεργασιών και στην αποδοτική χρήση πόρων για να βελτιστοποιούνται οι ροές και να επιτυγχάνεται η διατήρηση των τεχνικών και φυσικών αποθεμάτων πόρων.*

4. *Παρέχει νέες δυνατότητες για καινοτόμο σχεδιασμό σε πεδία όπως ο σχεδιασμός προϊόντων, υπηρεσιών και επιχειρηματικών μοντέλων, η παραγωγή τροφίμων, οι καλλιέργειες, βιολογικές πρώτες ύλες και προϊόντα.*

5. *Δημιουργεί ένα πλαίσιο και δομεί τις βάσεις για ένα ανθεκτικό σύστημα ικανό να λειτουργεί στο διηνεκές».*

Η ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας βασίζεται σε πέντε άξονες:

- **Σχεδιασμός της οικονομίας με σκοπό να μην υπάρχουν απόβλητα (Design out waste)**

  Τα βιολογικά και τεχνικά μέρη κάθε προϊόντος θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα για αποσυναρμολόγηση και επαναπροσδιορισμό της χρήσης τους. Τα βιολογικά μέρη είναι μη τοξικά και μπορούν απλά να κομποστοποιηθούν. Τα τεχνικά, πολυμερή, κράματα και άλλα τεχνητά υλικά, πρέπει να είναι σχεδιασμένα για να χρησιμοποιηθούν ξανά με τη μικρότερη δυνατή ενέργεια, (Macarthur, 2013).

- **Ενίσχυση της ελαστικότητας μέσω της ποικιλομορφίας (Build resilience through diversity)**

  Σε έναν κόσμο που αλλάζει τάχιστα, με εντεινόμενη την αβεβαιότητα, ο σπονδυλωτός σχεδιασμός, η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα των συστημάτων αποκτούν ειδική βαρύτητα. Τα πολυποίκιλα συστήματα με πολλές συνδέσεις και κλίμακες είναι πιο ανθεκτικά απέναντι σε εξωτερικά πλήγματα από τα συστήματα που είναι χτισμένα με βάση την αποδοτικότητα, η μεγιστοποίηση της όποιας τείνει να τα καταστήσει εύθραυστα, (Macarthur, 2013).

- **Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (Work towards using energy from renewable sources)**

  Η χρήση αποκλειστικά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ακόμα και ο αγροτικός τομέας, που χρησιμοποιεί ως επί το πλείστον ηλιακή ενέργεια, κάνει έμμεση χρήση ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή

λιπασμάτων και τη λειτουργία των μηχανών. Η περαιτέρω προώθηση ολοκληρωμένων συστημάτων στον αγροδιατροφικό τομέα θα μειώσει τη χρήση ορυκτών καύσιμων καθώς θα δεσμεύεται η ενέργεια από παραπροϊόντα όπως η κοπριά. Η φορολόγηση με βάση τη χρήση ενέργειας και πόρων θα λειτουργούσε προωθητικά για την εμπέδωση της κυκλικής οικονομίας καθώς η πίεση θα μεταφερόταν στις ενεργοβόρες και υπερκαταναλωτικές κοινωνίες/οικονομίες, (Macarthur, 2013).

- **Αντίληψη με όρους συστήματος (Think in systems)**

  Η κατανόηση των αλληλεξαρτήσεων διαφορετικών τμημάτων αλλά και η σχέση των τμημάτων με το σύνολο είναι σημείο κλειδί για την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Η πολυπλοκότητα και η μη γραμμικότητα του αίτιου και του αποτελέσματος στη σύγχρονη οικονομία οδηγεί αναγκαστικά στην υιοθέτηση συστημικών αντιλήψεων. Η συστημική θεώρηση δίνει έμφαση στα αποθέματα και τις ροές των πόρων. Η διατήρηση και η αναπλήρωση των αποθεμάτων είναι εγγενής σε συστήματα με ισχυρή ανατροφοδότηση, τα οποία θεωρείται πως έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Επίσης η συστημική θεώρηση έχει τη δυνατότητα να συμπεριλάβει την αναγέννηση και την εξέλιξη των υφιστάμενων συστημάτων, (Macarthur, 2013).

- **Αντίληψη με όρους διαδοχικής σύζευξης (Think in cascades)**
  Για υλικά βιολογικής προέλευσης η δημιουργία αξίας βασίζεται στη δυνατότητα απόσπασης επιπλέον προστιθέμενης αξίας μέσω της αξιοποίησής τους με τη μέθοδο των διαδοχικών συζεύξεων. Κατά τη βιολογική αποσύνθεση, φυσική ή ελεγχόμενη, το υλικό αποσυντίθεται σταδιακά από μικροοργανισμούς, όπως τα βακτήρια. Αυτή η σταδιακή βιο-αποικοδόμηση είναι σαφώς πιο αποδοτική από οποιαδήποτε άλλη διεργασία αποικοδόμησης. Είναι αναγκαίο πριν κάποιο ρεύμα φτάσει στο στάδιο της αποικοδόμησης να εξαχθεί από αυτό και η πιο μικρή ποσότητα χρήσιμης ενέργειας ή υλικού. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρειάζεται η διαδοχική σύζευξη των διαφορετικών επίπεδων επεξεργασίας, (Macarthur, 2013).

Από τα παραπάνω είναι φανερό πως σε επίπεδο βιομηχανικών περιοχών, η βιομηχανική συμβίωση είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας, καθώς η μείωση των αποβλήτων, η ενίσχυση της ποικιλομορφίας, η μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, η συστημική θεώρηση αλλά και η επιδίωξη της αειφορίας, υπάρχουν στη βιομηχανική οικολογία.

1.3.6 Βιομηχανική συμβίωση

Η βιομηχανική συμβίωση βασίζεται στις έννοιες της βιομηχανικής οικολογίας και των βιομηχανικών οικοσυστημάτων. Η έννοια του βιομηχανικού οικοσυστήματος, με την σημερινή της απόδοση, αναπτύσσεται από τους Frosch και Gallopoulos το 1989. Βασική ιδέα τους ήταν ότι το τρίπτυχο της βιομηχανικής παραγωγής “take it-make it-sell it” πρέπει να αντικατασταθεί από μία πιο ολοκληρωμένη θεώρηση της παραγωγικής διαδικασίας. Η πρότασή τους ήταν η ανάπτυξη βιομηχανικών οικοσυστημάτων, δηλαδή η δημιουργία ενός δικτύου βιομηχανικών μονάδων, όπου οι εκροές μίας μονάδας θα γίνονται πρώτη ύλη σε μία άλλη, (Frosch & Gallopoulos, 1989).

Οι Lowe & Evans (Lowe & Evans, 1995), περιγράφουν τη βιομηχανική οικολογία με τις εξής τέσσερις αρχές:

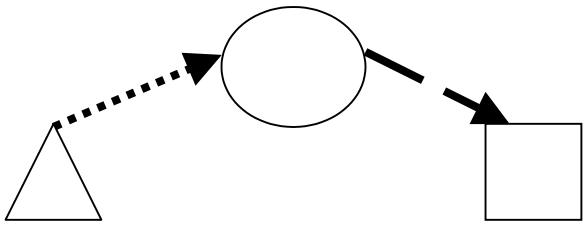
1. *«Όλες οι βιομηχανικές επιχειρήσεις (κατασκευές, υπηρεσίες και υποδομές) αποτελούν φυσικά συστήματα, τα οποία οφείλουν να λειτουργούν στα πλαίσια των δυνατοτήτων των τοπικών οικοσυστημάτων και της βιόσφαιρας.*
2. *Η δυναμική και οι αρχές λειτουργίας που διέπουν τα οικοσυστήματα αποτελούν πηγή έμπνευσης για το σχεδιασμό και τη διαχείριση των βιομηχανικών συστημάτων.*
3. *Η επίτευξη υψηλής (ενεργειακής και υλικής) αποδοτικότητας στην παράγωγη, χρήση, ανακύκλωση και παροχή υπηρεσιών θα οδηγήσει σε ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα και οικονομικά οφέλη.*
4. *Ο απώτερος σκοπός της οικονομικής δραστηριότητας είναι η βιωσιμότητα του πλανήτη και των τοπικών οικοσυστήματα, χωρίς τα οποία η έννοια της επιχειρηματικής επιτυχίας είναι άνευ σημασίας».*

Από τότε μέχρι και το πρόσφατο παρελθόν έχουν υπάρξει πολλοί ορισμοί σχετικά με τη βιομηχανική οικολογία και τα βιομηχανικά οικοσυστήματα. Η παράθεσή τους θα είχε ενδιαφέρον για την ανάλυση της εξέλιξης της επιστημονικής συζήτησης, αλλά είναι έξω από το πλαίσιο ανάλυσης της παρούσας εργασίας. Η βιομηχανική οικολογία αποτελεί μία συστημική προσέγγιση, η οποία μιμείται τα φυσικά οικοσυστήματα στην ποικιλία, τη συνδεσιμότητα, την αλληλεξάρτηση, τη συμβίωση, την προσαρμογή και μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη της αειφορίας. Τέλος, αν και χρησιμοποιείται η λέξη *βιομηχανική,* η έννοια βρίσκει εφαρμογή σε όλους τους τομείς των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, όπως η γεωργία, οι μεταφορές και οι υπηρεσίες, (Μουζακίτης, 2008).

Η βιομηχανική συμβίωση, που πρωτοεμφανίστηκε ως έννοια στο μικρό δήμο του Kalundborg της Δανίας, δεν ξεφεύγει από το γενικό κανόνα της βιομηχανικής οικολογίας, δηλαδή τη μίμηση των φυσικών συστημάτων.

Η συμβίωση ως έννοια στη φύση περιγράφει τη σχέση αμοιβαιότητας που αναπτύσσεται σε βιολογικές κοινότητες μεταξύ τουλάχιστο δύο μη συνδεδεμένων ειδών. Σκοπός της είναι η ανταλλαγή υλικών, ενεργείας και πληροφορίας με έναν κοινώς επωφελή τρόπο, (Chertow, Industrial Symbiosis, 2004). Η βιομηχανική συμβίωση περιγράφει τη σχέση μεταξύ δύο τουλάχιστον διαφορετικών οντοτήτων, συνήθως βιομηχανικών μονάδων, με σκοπό το κοινό όφελος το οποίο είναι μεγαλύτερο, ή ποιοτικά ανώτερο, από το άθροισμα των επιμέρους ωφελειών.

Η συμβίωση δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται στα όρια μιας βιομηχανικής περιοχής, αν και αυτή η περίπτωση είναι η συνηθέστερη. Η πραγματοποίηση της βιομηχανικής συμβίωσης είναι αποτέλεσμα της ανταλλαγής και χρησιμοποίησης ρευμάτων, που σε άλλες συνθήκες θα ήταν απόβλητα/παραπροϊόντα, αλλά και πληροφορίας, (Chertow, Industrial Symbiosis, 2004). Για να θεωρηθεί μία σύνδεση βιομηχανική συμβίωση πρέπει να ικανοποιείται ο κανόνας 3-2 (Εικόνα 7). Σύμφωνα με τον κανόνα αυτόν, για να υπάρχει συμβιωτικό δίκτυο απαιτείται η ύπαρξη τουλάχιστον τριών οντοτήτων (π.χ. βιομηχανικές μονάδες), οι οποίες να ανταλλάσσουν τουλάχιστον δύο διαφορετικούς πόρους. Καμία από τις οντότητες αυτές δεν πρέπει να έχει ως βασική δραστηριότητα την ανακύκλωση, (Chertow, “Uncovering” Industrial Symbiosis, 2007).



Εικόνα 7: Ο συμβιωτικός κανόνας 3-2 (Πηγή: Chertow 2007)

Στόχοι βιομηχανικής συμβίωσης

Η ανάπτυξη της βιομηχανικής συμβίωσης απαιτεί την πραγματοποίηση ορισμένων ενεργειών –στόχων. Οι βασικές ενέργειες που προωθούν τη βιομηχανική συμβίωση είναι:

- Η ανταλλαγή υλικών ρευμάτων μεταξύ διαφορετικών μονάδων.
- Η επαναχρησιμοποίηση ενέργειας.
- Η δημιουργία κατά το δυνατόν ευρύτερου δικτυού, (Chertow, Industrial Symbiosis, 2004).

Διαφορετικοί τύποι βιομηχανικής συμβίωσης

Η βιομηχανική συμβίωση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι δυνατόν να αναπτυχτεί τόσο εντός μιας βιομηχανικής περιοχής όσο και πέραν των ορίων αυτής. Η διαφοροποίηση αυτή αν και όχι καθοριστική, δημιουργεί διαφορετικές προτεραιότητες, εμπόδια και πλεονεκτήματα. Οι δύο βασικοί τύποι βιομηχανικής συμβίωσης είναι:

- **Συμβίωση κλειστού τύπου**

  Η συμβίωση κλειστού τύπου είναι και η ευκολότερα αναγνωρίσιμη καθώς αναπτύσσεται σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, συνήθως κάποια βιομηχανική περιοχή, που βρίσκεται εντός των ορίων κάποιου δήμου. Τα κύρια πλεονεκτήματά της είναι:

  1. Η γεωγραφική εγγύτητα των μονάδων κάνει ευκολότερη τη μεταφορά των ρευμάτων.
  2. Η ύπαρξη μιας οργανωμένης βιομηχανικής περιοχής συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιων στοιχείων υποδομής, όπως το διοικητικό κέντρο, που μπορούν να διαδραματίσουν καταλυτικό ρόλο στην ανάπτυξη συμβιωτικών δράσεων.

  Η πρόκληση για την κλειστού τύπου συμβίωση είναι η εύρεση κατάλληλων «ταιριασμάτων» μεταξύ των μονάδων. Η πρόκληση αυτή γίνεται ακόμα μεγαλύτερη όταν, όπως συμβαίνει αρκετά συχνά, η βιομηχανική περιοχή,

στην οποία επιχειρείται η ανάπτυξη της βιομηχανικής συμβίωσης δεν είναι κάποιο οικο-βιομηχανικό πάρκο σχεδιασμένο εκ των προτέρων για να υπηρετήσει τη λογική της συμβίωσης, αλλά μία «φυσικώς εξελιγμένη» βιομηχανική περιοχή, (Martin, Ivner, Svensson, & Eklund, 2012).

- **Συμβίωση ανοιχτού τύπου**

Σε αντίθεση με τη συμβίωση κλειστού τύπου, που είναι γεωγραφικά περιορισμένη σε μία περιοχή, η συμβίωση ανοιχτού τύπου δεν περιορίζεται γεωγραφικά. Η ανοιχτού τύπου συμβίωση περιλαμβάνει ανταλλαγές ρευμάτων μεταξύ οντοτήτων, που πιθανώς βρίσκονται ακόμα και σε διαφορετική ήπειρο. Το πλεονέκτημα της συμβίωσης ανοιχτού τύπου είναι η αύξηση των πιθανών συνεργειών, καθώς οι συμβιωτικές δράσεις δεν περιορίζονται σε μία μικρή γεωγραφική περιοχή. Τα μειονεκτήματα είναι η δυσκολία στην εύρεση του συμβιωτικού «ταιριάσματος» και στη δημιουργία συνεργειών, ειδικά αν δεν υπάρχει κάποιος φορέας συντονισμού. Μειονέκτημα επίσης, είναι η μεγάλη απόσταση, καθώς αυξάνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα κόστη μεταφοράς, (Chertow, “Uncovering” Industrial Symbiosis, 2007).

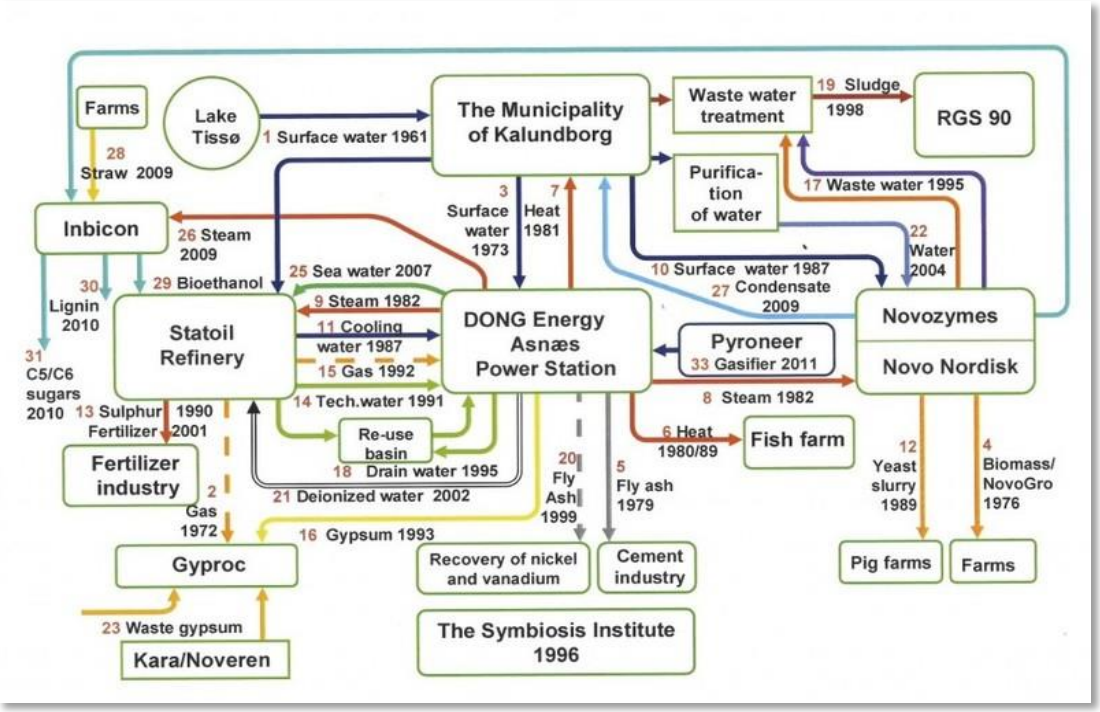
Ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των τύπων

Η κατηγοριοποίηση σε ανοιχτού και κλειστού τύπου συμβιωτικές δράσεις είναι πλασματική. Θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί παραδείγματα συμβίωσης που να μπορούν να θεωρηθούν ανοιχτού και κλειστού τύπου ταυτόχρονα. Ο λόγος της κατηγοριοποίησης είναι η εστίαση στις προκλήσεις των δύο κατηγοριών. Από πλευράς ενίσχυσης της κυκλικής οικονομίας και αειφορίας δεν υπάρχει καμία διαφοροποίηση. Επίσης, και για τις δύο κατηγορίες η εύρεση πιθανών συνεργειών παραμένει ένα από τα πιο δύσκολα ζητήματα, ενώ κοινή πρόκληση είναι η τεχνολογική δυνατότητα ανάπτυξης της συμβιωτικής δράσης.

Παραδείγματα βιομηχανικής συμβίωσης

- **Kalundborg: Η Μέκκα της Βιομηχανικής Συμβίωσης**

  Η πρώτη εφαρμογή προτύπου βιομηχανικής συμβίωσης άρχισε να αναπτύσσεται σταδιακά το 1961 στην πόλη Kalundborg της Δανίας, περίπου 75 km δυτικά της Κοπεγχάγης, χωρίς την ύπαρξη κάποιου αρχικού σχεδίου ανάπτυξης, σύμφωνα με τα πρότυπα της βιομηχανικής οικολογίας. Αρχικός στόχος ήταν η αξιοποίηση των επιφανειακών νερών της Λίμνης Tisso από ένα νέο διυλιστήριο και η ταυτόχρονη προστασία των υπόγειων νερών από τη μέχρι τότε εντατική εκμετάλλευση, με αφετηρία τη συνεργασία της πόλης του Kalundborg με τη νέα μονάδα διύλισης. Ακολούθησαν μία σειρά από έργα διασύνδεσης βιομηχανιών και το δίκτυο συνεργαζόμενων μονάδων επεκτάθηκε σημαντικά. Πλέον, το συμβιωτικό δίκτυο περιλαμβάνει συνολικά 17 μονάδες μεταξύ των οποίων πραγματοποιούντα 30 ανταλλαγές ρευμάτων (Εικόνα 8), (Kalundborg Symbiosis, 2012).



Εικόνα 8: Το συμβιωτικό δίκτυο της περιοχής Kalundborg (Πηγή Kalundborg Symbiosis)

Τα οφέλη από τη δημιουργία του δικτύου είναι πολλά, τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Ο όγκος των ετήσιων ανταλλασσόμενων ρευμάτων υπολογίζεται σε 2.9 εκατομμύρια τόνους, και η κατανάλωση νερού μειώθηκε κατά 25%. Οι εκπομπές CO_2 που αποφεύχθηκαν ανέρχονται σε 175,000 χιλιάδες τόνους ανά έτος, (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Μείωση κατανάλωσης, φυσικών πόρων και εκπομπών στο Kalundborg το έτος 1999 (Πηγή: (Hellenic Industrial Development Bank, 2000)

Μείωση κατανάλωσης φυσικών πόρων	
Πετρέλαιο Άνθρακας Νερό	45,000 tons/year 15,000 tons/year 600,000m^3/year
Μείωση αερίων ρύπων	
CO_2 SO_2	175,000 tons/year 10,200 tons/year
Αξιοποίηση αποβλήτων	
Θείο Γύψος (θειικό ασβέστιο) Ιπτάμενη τέφρα (για τσιμέντο)	4,500 tons/year 90,000 tons/year 130,000 tons/year

Ένας από τους βασικούς λόγους επιτυχίας του οικολογικού μοντέλου συμβίωσης στο Kalundborg είναι και το γεγονός ότι τα πέντε εργοστάσια βρίσκονται σε σχετικά μικρή απόσταση μεταξύ τους. Όπως όμως διατυπώνεται από τους ίδιους τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην ανάπτυξη του μοντέλου αυτού, σημαντικότερο είναι το πνεύμα και η διάθεση συνεργασίας που ανέπτυξαν και συνεχίζουν να επιδεικνύουν μεταξύ τους τα στελέχη των επιχειρήσεων. Το μοντέλο αυτό αποτελεί το πιο σημαντικό παράδειγμα βιομηχανικής συμβίωσης μέχρι σήμερα, (Hellenic Industrial Development Bank, 2000).

- **Το δίκτυο ανακύκλωσης στη Styria της Αυστρίας**

Στην περιοχή Styria της Αυστρίας αναπτύχτηκε ένα οργανωμένο δίκτυο ανακύκλωσης, το οποίο αρχικά βασίστηκε σε δύο μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, μία εταιρεία τροφίμων και μία τσιμεντοβιομηχανία. Πρώτο βήμα για την ανάπτυξη του δικτύου, ήταν η μελέτη όλων των ρευμάτων αποβλήτων και πρώτων υλών, των δύο κεντρικών βιομηχανιών. Για κάθε ένα από τα ρεύματα αυτά προσδιορίστηκαν νέοι πιθανοί προμηθευτές ή αποδέκτες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός δικτύου ανακύκλωσης που περιλαμβάνει σήμερα πάνω από 50 βιομηχανίες, κυρίως μέσα, αλλά και έξω από τα γεωγραφικά όρια της περιοχής της Styria. Το δίκτυο περιλαμβάνει βιομηχανίες που δραστηριοποιούνται στους τομείς της γεωργίας, των τροφίμων, των πλαστικών, της κλωστοϋφαντουργίας, του χαρτιού, της ενέργειας, της επεξεργασίας μετάλλων, του ξύλου, των δομικών υλικών, ενώ τα κυριότερα υλικά που ανακυκλώνονται είναι χαρτί, γύψος από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, σίδηρος, μεταχειρισμένα λάστιχα και λιπαντικά έλαια. Δεν αναφέρονται περιπτώσεις αξιοποίησης/ανακύκλωσης απορριπτόμενης ενέργειας ή συμπαραγωγής ενέργειας, εκτός από τη θέρμανση αστικών περιοχών, με πιθανότερο αίτιο τη μεγάλη απόσταση μεταξύ των συνεργαζόμενων βιομηχανιών, (Hellenic Industrial Development Bank, 2000).

Όπως και στην περίπτωση του Kalundborg το βασικό κίνητρο για την ανάπτυξη ενός τέτοιου δικτύου δεν ήταν η προστασία και η βελτίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των βιομηχανιών, αλλά τα σημαντικά κέρδη τα οποία αποκόμιζαν οι τελευταίες από: α) τη δυνατότητα ευχερούς διάθεσης των αποβλήτων τους, β) την αξιοποίηση των αποβλήτων κάποιας άλλης βιομηχανίας ως φτηνή και, ορισμένες φορές, καλύτερης ποιότητας πρώτη ύλη. Μόνο για το έτος 1992 καταγράφεται όγκος ανταλλασσόμενων ρευμάτων ύψους 924,080 χιλιάδων τόνων, (Hellenic Industrial Development Bank, 2000).

Συγκρίνοντας το δίκτυο ανακύκλωσης στη Styria με το αντίστοιχο πρότυπο βιομηχανικής συμβίωσης στο Kalundborg, προκύπτει ότι το πρώτο εμφανίζει μεγαλύτερη διαφοροποίηση και ίσως πολυπλοκότητα από πλευράς συνεργαζόμενων βιομηχανιών, (Hellenic Industrial Development Bank, 2000).

Ανάπτυξη των οικο-βιομηχανικών πάρκων και της Βιομηχανικής Συμβίωσης

Η ιδέα της βιομηχανικής οικολογίας και της βιομηχανικής συμβίωσης κέρδισε έδαφος στις αρχές του αιώνα. Η ανάδυση νέων οικονομικών δυνάμεων, όπως η Κίνα, συνδυάστηκε με εντυπωσιακή αύξηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Για τη μετρίαση αυτών των αποτελεσμάτων της ταχείας βιομηχανικής ανάπτυξης σχεδιάστηκαν αρκετά οικο-βιομηχανικά πάρκα στα οποία εφαρμόστηκε η βιομηχανική συμβίωση, (Zhang, Yuan, Bi, Zhang, & Liu, 2010).

1.3.7 Επιλογή τόπου και τύπου συμβιωτικών δικτύων

Το ζήτημα αυτό παραμένει ανοιχτό στους επιστημονικούς κύκλους που ασχολούνται με την ανάπτυξη δικτύων συμβίωσης. Μία μερίδα επιστημόνων όπως η Chertow (Chertow, “Uncovering” Industrial Symbiosis, 2007), ισχυρίζεται πως τα συμβιωτικά δίκτυα, που έχουν μεγαλύτερη αντοχή και μακροζωία, είναι αυτά που προκύπτουν αυθόρμητα, όπως η περίπτωση του Kalundborg. Μία άλλη μερίδα επισημαίνει την ανάγκη σχεδιασμού εξ αρχής οικο-βιομηχανικών πάρκων, όπως συμβαίνει κυρίως στην περιοχή της νοτιοανατολικής Ασίας και της Βραζιλίας, (Ometto & Ramos, 2007).

Αν και ο εκ των πρότερων σχεδιασμός βιομηχανικών παραγωγικών μονάδων και περιοχών με στόχο τη βιομηχανική συμβίωση, μπορεί να πολλαπλασιάσει τα αποτελέσματα της κυκλικής οικονομίας και της αειφόρου ανάπτυξης, για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε να αναλυθεί ως προς τις συμβιωτικές

δράσεις μία βιομηχανική περιοχή κοντά στην ελληνική πραγματικότητα (Κεφάλαιο 3).

1.4 Εφαρμογή βιομηχανικής συμβίωσης στην ελληνική πραγματικότητα

1.4.1 Κυκλική οικονομία, μπορεί να εφαρμοστεί στην Ελλάδα?

Η κυκλική οικονομία από τη φύση της είναι ένα οικονομικό μοντέλο δομημένο με σκοπό να εφαρμόζεται σε παγκόσμιο επίπεδο. Υπό αυτή την έννοια η απάντηση είναι προφανώς θετική. Έχει όμως αξία να γίνει μία σύντομη ανασκόπηση στην κατάσταση της ελληνικής οικονομίας και παραγωγής και μία διερεύνηση για πιθανά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Η κατάσταση της βιομηχανικής παραγωγής στην Ελλάδα έχει χειροτερεύσει σε σχέση με το 2000. Συγκεκριμένα, ο δείκτης βιομηχανικής παραγωγής μειώθηκε μεσοσταθμικά κατά 28,75% από το 2000 έως το 2014, (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2015). Στο Παράρτημα 2 παρατίθενται πίνακες με τη διακύμανση του δείκτη μεταποίησης στους επιμέρους τομείς της παραγωγής. Οι μόνοι τομείς που εμφανίζουν αύξηση σε σχέση με το 2000 είναι η φαρμακοβιομηχανία, η εξόρυξη βασικών μετάλλων και η επεξεργασία και διανομή νερού. Οι τομείς που θα έλεγε κάνεις ότι διασώζονται, καθώς παρουσιάζουν μείωση μικρότερη από τη μεσοσταθμική, είναι η εξόρυξη λιγνίτη και άνθρακα, η βιομηχανία τροφίμων, αναψυκτικών και ποτών, τα προϊόντα καπνού και χάρτου, και η παραγωγή ηλεκτρισμού. Όπως φαίνεται και στο Παράρτημα 3: Κατάσταση μεταποιητικού κλάδου σε Ελλάδα και Ε.Ε. όπου παρουσιάζεται η κατάσταση μεταποιητικού κλάδου σε Ελλάδα και Ε.Ε, ο κλάδος των τροφίμων είναι ο σημαντικότερος στην Ελλάδα με τον κλάδο της διύλισης προϊόντων πετρελαίου να έπεται, (Θωμαΐδου, 2014).

Αξίζει να σημειωθεί πως η μείωση της πρωτογενούς και δευτερογενούς παραγωγής και αύξηση του τομέα των υπηρεσιών ήταν συνειδητή επιλογή της

ελληνικής πολιτικής ηγεσίας. Συγκεκριμένα, η αναπτυξιακή λογική του διαμετακομιστικού κόμβου, του εκσυγχρονισμού και της ενίσχυσης των υπηρεσιών, με προμετωπίδα τον τουρισμό, που επικράτησε από το 1992, ενίσχυσε την τεχνολογική καθυστέρηση, (Γρηγοριάδης, 2000). Η μείωση της συνεισφοράς του δευτερογενούς τομέα από 30.4% το 1980 στο 13.1% το 2014, (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2015), μαρτυρά αυτό ακριβώς το γεγονός.

Η κατάσταση του πρωτογενούς τομέα παραγωγής είναι παρόμοια με αυτή τους δευτερογενούς. Η συνεισφορά του πρωτογενή τομέα στο ΑΕΠ έχει μειωθεί από 15.46% το 1980 σε 3.8% το 2014, (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2014). Επίσης, λόγω της διαρκούς οικονομικής κρίσης, παρατηρείται και μία στασιμότητα στον τομέα των μεταφορών και των υποδομών καθώς οι δημόσιες επενδύσεις που στήριζαν παραδοσιακά τους παραπάνω κλάδους έχουν μειωθεί.

Με βάση τα παραπάνω θα θεωρούσε κάνεις πως οι οιωνοί δεν είναι θετικοί για την ελληνική οικονομία συνολικά, και επομένως, ούτε για την ανάπτυξη μορφών κυκλικής οικονομίας. Υπάρχουν όμως και σημαντικά πλεονεκτήματα στον ελλαδικό χώρο για την ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας. Το κυριότερο είναι οι κλιματικές συνθήκες και η δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενεργείας από διαφορετικές τεχνολογίες. Η φωτοβολταϊκή, η αιολική, η κυματική και υδροηλεκτρική ενέργεια μπορούν να ευδοκιμήσουν στην Ελλάδα. Το σχετικά μικρό μέγεθος της χώρας επιτρέπει τη μεταφορά υλικών και τη διασύνδεση γεωγραφικών περιοχών. Συνεπώς, υπάρχουν σαφείς δυσκολίες αλλά και μερικά πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη μορφών κυκλικής οικονομίας στην Ελλάδα.

1.4.2 Είναι η τυπική βιομηχανική συμβίωση συμβατή με την ελληνική πραγματικότητα?

Όπως περιγράφηκε και παραπάνω, η μείωση της βιομηχανικής παράγωγης τα τελευταία 14 χρόνια ξεπερνά το 28%, (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2015). Παρόλα αυτά, στην Ελλάδα ακόμα και σήμερα υπάρχει βιομηχανική δραστηριότητα, σε ορισμένους κλάδους ισχυρή, καθώς επίσης και βαριά βιομηχανία. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα υπάρχουν 4 μονάδες διυλιστηρίων, 8 τσιμεντοβιομηχανίες, 5 μονάδες χαλυβουργίας. Επίσης, ο τομέα τροφίμων και ο τομέας ποτών διατηρούν τη δυναμικότητά τους παρά την κρίση, (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2015).

1.4.3 Βιομηχανικές περιοχές στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχουν σήμερα 19 βιομηχανικές περιοχές, αυτό σημαίνει πως υπάρχει σε κάθε βιομηχανική περιοχή ένα διοικητικό κέντρο και υποστηρικτικές υποδομές λιγότερο ή περισσότερο ανεπτυγμένες. Η μεγαλύτερη από άποψη δυναμικότητας και αριθμό εγκατεστημένων μονάδων βιομηχανική περιοχή βρίσκεται στη Θεσσαλονίκη και περιλαμβάνει 375 μονάδες (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Κλάδοι βιομηχανίας που δραστηριοποιούνται στη ΒΙ.ΠΕ.Θ. (Πηγή: Hellenic Industrial Development Bank, 2000)

	ΚΛΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
1.	Κλάδος, τροφίμων, ποτών και καπνού	**17**
2.	Κλάδος κλωστηρίων, υφαντήριων, παπουτσιών, ενδύσεως	**11**
3.	Κλάδος μεταλλικών αντικειμένων - κατεργασίας μετάλλων μη μεταλλικών ορυκτών - μηχανών και συσκευών	**30**
4.	Κλάδος χημικών	**7**
5.	Κλάδος ελαστικού και πλαστικής ύλης	**9**
6.	Κλάδος χαρτιού και εκτυπώσεων	**5**
7.	Υπόλοιπες βιομηχανίες	**21**
	ΣΥΝΟΛΟ	**100**

Στο Ηράκλειο και στο Βόλο υπάρχουν επίσης βιομηχανικές περιοχές με σημαντική δυναμικότητα, και ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων είναι 172 και 133, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, συμπεραίνει κανείς πως στην Ελλάδα υπάρχουν οι αντικειμενικές συνθήκες για τη δημιουργία συμβιωτικών δικτύων. Φυσικά υπάρχουν και δυσκολίες που δεν έχουν να κάνουν μόνο με την οικονομική κρίση. Κύρια δυσκολία είναι μάλλον η έλλειψη εμπιστοσύνης μεταξύ των συμμετεχόντων, γεγονός, που όπως δείχνουν τα επιτυχημένα παραδείγματα συμβίωσης, είναι απαραίτητο για την επιτυχία του εγχειρήματος, (Ashton, 2008).

2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο Ανάπτυξης Σεναρίων Συμβιωτικών Δράσεων

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου/αλγορίθμου, το οποίο θα εξετάζει πιθανές συμβιωτικές δράσεις μεταξύ των βιομηχανικών μονάδων μιας βιομηχανικής περιοχής, θα δημιουργεί συμβιωτικά σενάρια και θα τα αξιολογεί. Οι τρεις πυλώνες, δηλαδή το περιβάλλον, η οικονομική και η κοινωνική διάσταση, αποτελούν τα κριτήρια αξιολόγησης της πορείας προς την αειφορία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ωστόσο, εξετάζονται μόνο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η κυκλική οικονομία (Ellen MacArthur Foundation, 2014) και η βιομηχανική οικολογία (Μουζακίτης, 2008) εμπεριέχουν στις βασικές αρχές τους τη συστημική θεώρηση. Κρίνεται επομένως απαραίτητο, η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τα αποτελέσματα των συμβιωτικών σεναρίων να αποτυπώνει αυτή τη συστημική αντίληψη. Για το λόγο αυτόν, τα σενάρια αξιολογούνται με τη μέθοδο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη μελέτη τόσο των δραστηριοτήτων, και των επιπτώσεών τους, που πραγματοποιούνται εντός του εξεταζόμενου συστήματος, όσο και εκείνων που πραγματοποιούνται εκτός του συστήματος μελέτης, αλλά χρησιμοποιούνται εντός αυτού .

Συμβιωτική δράση

Ως συμβιωτική δράση ορίζεται η δημιουργία μιας σύνδεσης (link) μεταξύ 2 βιομηχανικών μονάδων. Η σύνδεση αυτή είναι μία ροή μάζας ή ενέργειας που μεταφέρεται από τη μία μονάδα στην άλλη. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της σύνδεσης αυτής είναι ότι το ρεύμα που μεταφέρεται είναι πλέον μη αξιοποιήσιμο από τη μονάδα πομπό αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί από τη μονάδα δέκτη.

Βιομηχανική περιοχή

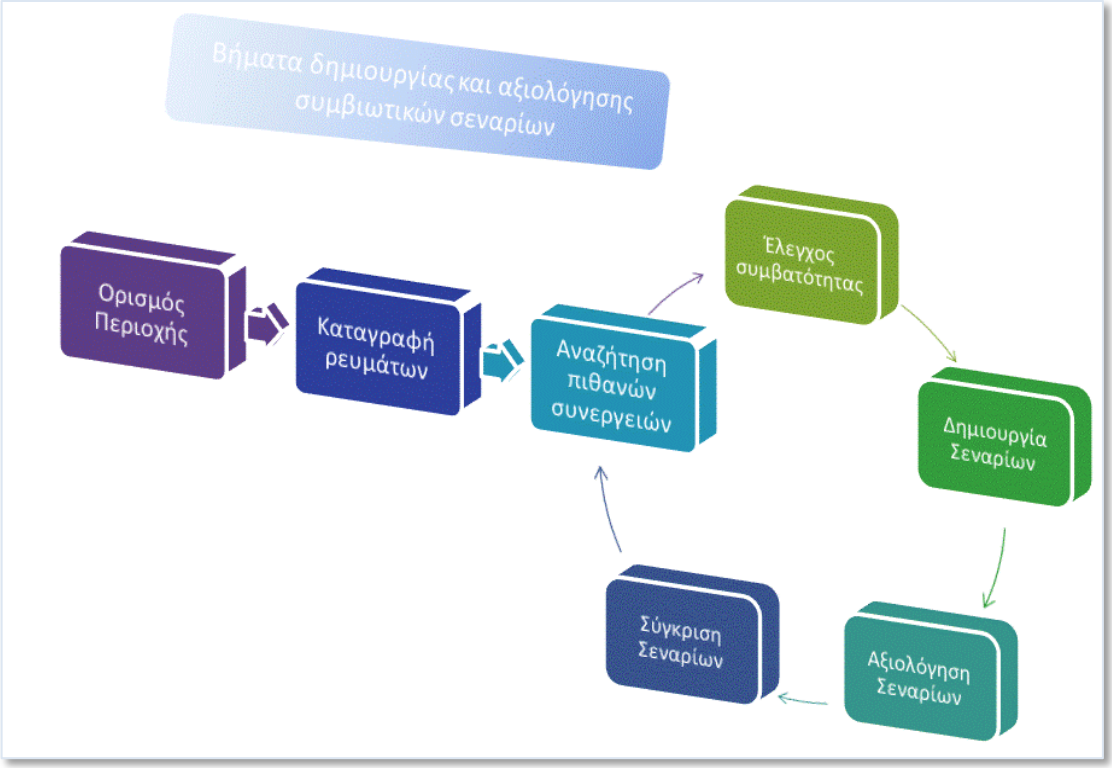
Βιομηχανική περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) ορίζεται ένας γεωγραφικός χώρος που καθορίζεται, οριοθετείται και οργανώνεται προκειμένου να λειτουργήσει ως χώρος υποδοχής κάθε βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας. Στις ΒΙ.ΠΕ συνήθως υπάρχουν μία σειρά έργων υποδομής για να υποστηρίξουν και να διευκολύνουν τις επιμέρους βιομηχανικές μονάδες, (Μουρτσιάδης, Αήνα).

Σενάριο συμβίωσης

Σενάριο Συμβίωσης ονομάζεται ένα σύνολο συμβιωτικών δράσεων που εξετάζεται να εφαρμοστεί στην εξεταζόμενη ΒΙ.ΠΕ. Τα σενάρια συμβίωσης μπορεί να έχουν διαφορετικούς χρωματισμούς, για παράδειγμα να δίνουν έμφαση στη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και την ενεργειακή αριστοποίηση ή να δίνουν έμφαση στην ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση ρευμάτων.

2.1 Αλγόριθμος επιλογής & αξιολόγησης συμβιωτικών δράσεων

Το σύστημα βιομηχανικής συμβίωσης θα εξεταστεί ως μία τοπική οικολογία οντοτήτων, με ίδια κίνητρα, που έχουν ως πρωταρχικό στόχο τη μεγιστοποίηση των ωφελειών τους. Με την ανάπτυξη του συμβιωτικού δικτύου επιχειρείται η διατήρηση, αν όχι h αύξηση της ωφέλειας της κάθε μονάδας, μέσω επεμβάσεων/δράσεων που αυξάνουν την αειφορία του συστήματος. Ο παρακάτω αλγόριθμος περιγράφει μία βήμα προς βήμα διαδικασία επιλογής και αξιολόγησης των συμβιωτικών δράσεων και σεναρίων. Η σχηματική απεικόνιση των βημάτων φαίνεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση βημάτων δημιουργίας και αξιολόγησης σεναρίων συμβίωσης

Βήμα 1: Ορισμός του εξεταζόμενου συστήματος

Το σύστημα της βιομηχανικής συμβίωσης καθορίζεται από τα γεωγραφικά του όρια (ορίζοντας μία περιοχή), ή/και βιομηχανικό τομέα ή/και ομαδοποιώντας μερικές βιομηχανικές μονάδες (π.χ. ορίζοντας μία βιομηχανική περιοχή). Οι μονάδες που θεωρούνται ότι ανήκουν στο σύστημα καταγράφονται.

Βήμα 2: Καταγραφή και κατηγοριοποίηση ροών εισόδου και εξόδου κάθε επιλεγμένης βιομηχανικής μονάδας

Για την παράγωγη των τελικών προϊόντων κάθε βιομηχανικής μονάδας χρειάζονται μία σειρά άλλων εισερχόμενων ρευμάτων όπως οι πρώτες ύλες, και η ενέργεια. Αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας, πέραν του τελικού προϊόντος, είναι και μία σειρά αποβλήτων και παραπροϊόντων. Στην εργασία αυτή τα ρεύματα που εισέρχονται σε κάθε μονάδα (input) χωρίζονται σε τρεις

κατηγορίες, τα *υλικά ή πρώτες ύλες*, τις *ενεργειακές ανάγκες* και το *νερό*. Η διάκριση ανάμεσα στις ενεργειακές ανάγκες και τις πρώτες ύλες γίνεται για ευνόητους λογούς, η διακριτή κατηγοριοποίηση του νερού ωστόσο δεν είναι αυτονόητη. Η επιλογή για τη δημιουργία ξεχωριστής κατηγορίας για το νερό γίνεται διότι το νερό είναι πρώτη υλη σχεδόν για κάθε βιομηχανική μονάδα και οι διαφορετικές του ποιότητες σημαντικές για την παραγωγική διαδικασία. Με τον ίδιο τρόπο τα ρεύματα που εξέρχονται από την κάθε μονάδα διακρίνονται σε *παραπροϊόντα*, *απόβλητα*, *εξερχόμενη ενέργεια* και *νερό*. Για κάθε μία από τις βιομηχανικές μονάδες γίνεται καταγραφή πρώτων υλών, ενέργειας, νερού παραπροϊόντων και αποβλήτων. Η καταγραφή αυτή είναι ποσοτική δηλαδή μετρά την απαιτούμενη ποσότητα του κάθε ρεύματος για την παράγωγη μιας μονάδας τελικού προϊόντος και ποιοτική καθώς έπεται κατηγοριοποίηση των ροών με βάση πίνακες κατηγοριοποίησης.

- **Ρεύματα υλικών**

  Οι πρώτες ύλες τα παραπροϊόντα και τα απόβλητα κατηγοριοποιούνται ως υλικά με βάση τις εξής κατηγορίες:

  1. Κεραμικά & γυαλιά
  2. Μέταλλα
  3. Φυσικά & τεχνητά σύνθετα υλικά
  4. Φυσικά & τεχνητά πολυμερή
  5. Ορυκτά
  6. Αγροτικά
  7. Οργανικά
  8. Βιοχημικά/Μικροοργανισμοί

  Οι κατηγορίες αυτές έχουν πολλές υποκατηγορίες, όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο πίνακα του παραρτήματος, *:* Κλάσεις υλικών. Η κατηγοριοποίηση των ρευμάτων και η αντιστοίχισή τους στην

κατάλληλη κλάση αποτελούν σημαντικό σημείο της μεθόδου. Για παράδειγμα, ο ασβεστόλιθος που χρησιμοποιείται στην παράγωγη του τσιμέντου ανήκει στην κλάση *5.D.i*, καθώς είναι ορυκτό (5) της υποκατηγορίας *οξείδια/υδροξείδια (D)* και ανήκει στην ομάδα των *βαναδικών (i).*

Στην περίπτωση δε των αγροτικών υλικών είναι απαραίτητος ο έλεγχος για κάποια πιθανή χρήση σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Πιθανές χρήσεις αγροτικών υλικών

Πιθανές χρήσεις αγροτικών υλικών		
A	**1**	Πρώτη ύλη
	2	Καύση
	3	Χώνευση
	4	Βιοδιύλυση
	5	Ειδικές χρήσεις

- **Ρεύματα νερού**

  Αντίστοιχα με τα ρεύματα υλικών, κατηγοριοποιούνται και τα ρεύματα του νερού, όπου υπάρχουν 4 κατηγορίες ποιότητας και 3 κατηγορίες θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4. Οι διαφορετικές κατηγορίες και ποιότητες συνδυάζονται (π.χ. N.2.B για πόσιμο νερό σε θερμοκρασία 30-50 ^{o}C).

Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση υδατικών ρευμάτων

	Κατηγοριοποίηση νερού			
	Ποιότητα		**Θερμοκρασία σε ^{o}C**	
N	**1**	Απιονισμένο	**A**	15-30
	2	Πόσιμο	**B**	30-50
	3	Διεργασιών	**C**	50+
	4	Απόβλητο		

- **Ρεύματα ενέργειας**

  Οι ενεργειακές ανάγκες των βιομηχανικών μονάδων κατανέμονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την ηλεκτρική ενέργεια (κατηγορία Ε1) και τη θερμότητα (κατηγορία Ε2), (Πίνακας 5).

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση ρευμάτων ενέργειας

Ενέργεια	
Ε.1	Ηλεκτρισμός
Ε.2	Θερμότητα

Βήμα 3: Αναζήτηση πιθανών συμβιωτικών δράσεων

Η αναζήτηση των πιθανών συνεργειών είναι το τρίτο και πιθανώς σημαντικότερο βήμα. Έχοντας κατηγοριοποιήσει τα ρεύματα εισόδου και εξόδου της κάθε βιομηχανικής μονάδας, πραγματοποιείται έλεγχος για την ύπαρξη ρευμάτων με κοινές κλάσεις. Η διαδικασία του ελέγχου πραγματοποιείται ως εξής. Κάθε στοιχείο των πρώτων υλών της κάθε βιομηχανικής μονάδας ελέγχεται για πιθανό ταίριασμα με τα απόβλητα και τα παραπροϊόντα των υπολοίπων μονάδων. Αναζητούνται ταυτόσημες κλάσεις. Αντίστοιχος έλεγχος πραγματοποιείται ανάμεσα στις εισερχόμενες και εξερχόμενες ενεργειακές ροές αλλά και ανάμεσα στα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα νερού. Ενώ τέλος ελέγχεται και η πιθανή κάλυψη ενεργειακών αναγκών από παραπροϊόντα και απόβλητα.

Συνεπώς, συνοπτικά προκύπτουν οι εξής έλεγχοι ταιριασμάτων:

Α΄ ύλες --> παραπροϊόντα, απόβλητα

Εισερχόμενη ενέργεια --> Εξερχόμενη ενέργεια

Εισερχόμενο νερό --> Εξερχόμενο νερό

Παραπροϊόντα, απόβλητα --> Εισερχόμενη ενέργεια

Βήμα 4: Έλεγχος συμβατότητας πιθανών ταιριασμάτων

Αφού καταγράφουν τα πιθανά ταιριάσματα πραγματοποιείται το δεύτερο κομμάτι του ελέγχου όπου εξετάζεται η τεχνολογική δυνατότητα πραγματοποίησης της συνέργειας. Σε αυτό το στάδιο ελέγχεται τόσο η συμβατότητα από πλευράς υλικών όσο και η τεχνολογική δυνατότητα πραγματοποίησης της συμβιωτικής δράσης. Αναγκαστικά απαιτείται διερεύνηση ώστε να εξεταστεί αν τελικώς υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας της συμβιωτικής δράσης.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως τα βήματα 3 και 4 δηλαδή η εύρεση των συνεργειών συνεχίζουν να απασχολούν έντονα την επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με τη βιομηχανική συμβίωση. Υπάρχουν αρκετές βάσεις δεδομένων όπως αυτή του NISP που προσπαθούν να δώσουν απαντήσεις στο ερώτημα της δημιουργίας ενός πλαισίου που με ένα σχετικά αυτοματοποιημένο τρόπο θα προτείνει πιθανές συνέργειες λαμβάνοντας υπ' όψη και την τεχνολογική δυνατότητα πραγματοποίησης της συμβιωτικής δράσεις. μία αξιοσημείωτη προσπάθεια είναι η Σημασιολογική θεώρηση που βασίζεται στις οντολογίες και αναπτύχθηκε από τους (Trokanas, Cecelja, & Raafat, 2013).

Βήμα 5: Δημιουργία σεναρίων συμβίωσης

Γνωρίζοντας πλέον τις δυνατές συμβιωτικές δράσεις για το εξεταζόμενο σύστημα δημιουργούνται σενάρια υλοποίησης τους. Στα σενάρια που προκύπτουν θεωρείται ότι πραγματοποιούνται όλες ή κάποιες μόνο από τις δυνατές συμβιωτικές δράσεις. Για την ονομασία των σεναρίων λαμβάνεται υπόψη ο χαρακτήρας των συμβιωτικών δράσεων που επιλέγονται. (αν στοχεύουν κυρίαρχα στην επαναχρησιμοποίηση υλικών ή στην ενεργειακή εξοικονόμηση κοκ)

Στοχεύοντας στην αύξηση των συμβιωτικών δράσεων και του «κλεισίματος των ανοιχτών ροών» δημιουργείται μία λίστα με *Βέλτιστες Συμβιωτικές Επεμβάσεις*. Η λίστα αυτή περιέχει μία σειρά ολοκληρωμένων συμβιωτικών επεμβάσεων που μπορούν να εφαρμοστούν σε μία ΒΙ.ΠΕ. Τέτοιες είναι:

Μονάδα αναερόβιας χώνευσης και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, ολοκληρωμένο δίκτυο ανακύκλωσης αποβλήτων, κεντρική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κοκ. Αυτές οι μονάδες είναι υποστηρικτική υποδομή η οποία παρέχεται από τη ΒΙ.ΠΕ. με σκοπό την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Η δημιουργία σεναρίων και η εξέταση πραγματοποίησης κάποιας βέλτιστης συμβιωτικής επέμβασης, εξαρτάται από τις βιομηχανικές μονάδες που υπάρχουν στη ΒΙ.ΠΕ. και τα ρεύματα εισροών και εκροών.

Βήμα 6: Αξιολόγηση των σεναρίων

Τα σενάρια συμβιωτικών δράσεων αξιολογούνται ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συγκρίνονται με το σενάριο βάσης, δηλαδή την αρχική κατάσταση του συστήματος.

Για την περιβαλλοντική αξιολόγηση του σεναρίου βάσης και των συμβιωτικών σεναρίων χρησιμοποιείται η μεθοδολογία Αξιολόγησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment LCIA), (Guinée, et al., 2004).

Συγκεκριμένα πραγματοποιείται η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για ολόκληρο το εξεταζόμενο σύστημα μέσω της χρήσης των περιβαλλοντικών δεικτών της CML baseline μεθόδου, (Leiden University, 2001)

Εκτός των δεικτών της CML έχει χρησιμοποιηθεί και ο δείκτης κατανάλωσης νερού (fresh water depletion). Ο δείκτης αυτός επιλέχθηκε καθώς το νερό αποτελεί βασική ροή της βιομηχανίας και η εξάντλησή του ένα μείζον ζήτημα των σύγχρονων κοινωνιών. Ο δείκτης αυτός είναι ευρέως διαδεδομένος σε μία σειρά άλλων μεθόδων ανάλυσης επιπτώσεων κύκλου ζωής (Jolliet, et al., 2003), (Pfister, Koehler, & Hellweg, 2009). Εν προκειμένω για τους αντίστοιχους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η μέθοδος ReCiPe Midpoint, (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs , & Van Zelm, 2008)

Οι *δείκτες* που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω, (Guinée, et al., 2004):

1. **Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (Global warming potential)** (Ευρωπαϊκό Κοινοβουλίο και Συμβούλιο, 2006): Ο δείκτης ποσοτικοποιεί τη συμβολή στην κλιματική αλλαγή που επιφέρει κάποιος ρύπος. Ο κυριότερος ρύπος που είναι υπεύθυνος για το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη, είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO_2. Για το λόγο αυτόν η μονάδα στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη είναι το ισοδύναμο ενός κιλού διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή το **kg CO_2-eq**. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι υπάρχουν ρύποι με πολλαπλάσια δραστικότητα στο Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη από το ένα κιλό εκλυόμενου CO_2, επί παραδείγματι το ένα κιλό εκλυόμενου μεθανίου CH_4 αντιστοιχεί σε 23 κιλά εκλυόμενου CO_2.

2. **Ευτροφισμός (Eutrophication):** Ο δείκτης ποσοτικοποιεί τη συμβολή στον ευτροφισμό που επιφέρει κάποιος ρύπος. Ο ευτροφισμός προκύπτει λόγω ύπαρξης πληθώρας θρεπτικών στοιχείων κυρίως φωσφορικών και νιτρικών ριζών σε υδατικά συστήματα (λίμνες θάλασσες ποτάμια). Η μονάδα στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στον ευτροφισμό είναι το ισοδύναμο ενός κιλού φωσφορικής ρίζας δηλαδή **kg PO_4^{-3}-eq.**

3. **Οξίνιση (Acidification):** Ο δείκτης ποσοτικοποιεί τη συμβολή στην οξίνιση που επιφέρει κάποιος ρύπος. Οξίνιση είναι η πτώση του ph των υδάτων ή του εδάφους λόγω ύπαρξης όξινων ουσιών. Η μονάδα στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στην οξίνιση είναι το ισοδύναμο ενός κιλού διοξειδίου του θείου **kg SO_2-eq.**

4. **Τοξικότητα για τον άνθρωπο (Human Toxicity):** Ο δείκτης αυτός ποσοτικοποιεί τις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών στον άνθρωπο. Η μονάδα στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στην

τοξικότητα είναι το ισοδύναμο ενός κιλού 1.4 δίχλωρου βενζενίου, δηλαδή **kg 1.4DB-eq.**

5. **Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων (Marine Aquatic Ecotoxicity):** Ο δείκτης αναφέρεται στις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών που εκπέμπονται στα θαλάσσια υδάτινα οικοσυστήματα. Η μονάδα στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στην τοξικότητα είναι το ισοδύναμο ενός κιλού 1.4 δίχλωρου βενζενίου δηλαδή **kg 1.4DB-eq.**

6. **Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού (Freshwater Ecotoxicity):** Ο δείκτης αναφέρεται στις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών που καταλήγουν στα οικοσυστήματα του γλυκού νερού. Η μονάδα στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στην τοξικότητα είναι το ισοδύναμο ενός κιλού 1.4 δίχλωρου βενζενίου δηλαδή **kg 1.4DB-eq**.

7. **Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων (Terrestrial Ecotoxicity):** Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών που καταλήγουν στα χερσαία οικοσυστήματα. Η μονάδα στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στην τοξικότητα είναι το ισοδύναμο ενός κιλού 1.4 δίχλωρου βενζενίου δηλαδή **kg 1.4DB-eq.**

8. **Φωτοχημική Οξείδωση (Photochemical Oxidation):** Ο δείκτης αυτός ποσοτικοποιεί τη συμβολή των εκπεμπόμενων ρύπων στη φωτοχημική οξείδωση. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει από το σχηματισμό δραστικών χημικών ενώσεων, όπως το όζον, λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ορισμένους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Οι ενώσεις αυτές μπορεί να είναι επιβλαβείς για τη ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα και τις καλλιέργειες. Η μονάδα αναφοράς στην οποία ανάγονται οι ρύποι που συνεισφέρουν στη φωτοχημική οξείδωση είναι το ισοδύναμο ενός κιλού αιθενίου **kg C_2H_2-eq.**

9. **Εξάντληση ορυκτών καυσίμων (Fossil Fuel Depletion):** Ο δείκτης αυτός ποσοτικοποιεί την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων λόγω της χρήσης τους σε διεργασίες. Η μονάδα αναφοράς είναι το **MJ.**

10. **Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος (Ozone Layer Depletion):** Ο δείκτης ποσοτικοποιεί τη συμβολή των εκπεμπόμενων ρύπων στην τρύπα του όζοντος. Η Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος προκαλείται από αέριους ρύπους που αντιδρούν με το στρατοσφαιρικό όζον. Ο πιο συχνά αναφερόμενος ρύπος είναι οι χλωροφθοράνθρακες, οι οποίοι είναι και η μονάδα αναφοράς **kg CFC-eq.**

11. **Εξάντληση γλυκού νερού (Freshwater Depletion):** Ο δείκτης ποσοτικοποιεί την εξάντληση του γλυκού νερού λόγω της χρήσης του σε διεργασίες. Η μονάδα αναφοράς είναι το κυβικό μέτρο **m^3.**

Ο υπολογισμός των δεικτών για το κάθε εξεταζόμενο σύστημα είναι μία διαδικασία που πραγματοποιείται σύμφωνα με συγκεκριμένα βήματα. Τα βήματα αυτά περιλαμβάνουν:

i. Τον διαχωρισμό των ρευμάτων σε εισερχόμενα στο σύστημα και εξερχόμενα/εκπεμπόμενα από αυτό. Τα εισερχόμενα ρεύματα θεωρείται πως φέρουν στο σύστημα μία εξωτερική επιβάρυνση που προκλήθηκε κατά την παραγωγή τους. Οι επιπτώσεις αυτές θεωρούνται έμμεσες (background) (Azapagic, 1999). Παράδειγμα έμμεσων επιπτώσεων είναι η επιβάρυνση που προκαλείται κατά την παραγωγή μιας kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν παράγεται εντός των ορίων του συστήματος αλλά χρησιμοποιείται από αυτό. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι επιπτώσεις για την παραγωγή πρώτων υλών και τη διοχέτευση του νερού στο σύστημα. Από την άλλη τα εξερχόμενα/εκπεμπόμενα ρεύματα είναι αποτέλεσμα των διεργασιών που πραγματοποιούνται εντός του εξεταζόμενου συστήματος και για αυτόν το λόγο οι επιπτώσεις που προκαλούνται από αυτά θεωρούνται άμεσες (foreground). Παράδειγμα άμεσων επιπτώσεων είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από έναν καυστήρα μιας μονάδας του συστήματος.

ii. Κάθε εξερχόμενο/εκπεμπόμενο ρεύμα έχει μία συγκεκριμένη σύσταση, σύμφωνα με την σύσταση αυτή υπολογίζονται οι επιπτώσεις κάθε ρεύματος. Η κατηγοριοποίηση (classification) κάθε ρεύματος/ένωσης στους 11 δείκτες πραγματοποιείται μέσω των παραγόντων χαρακτηρισμού (characterization factors). Οι παράγοντες χαρακτηρισμού είναι το διάνυσμα με το οποίο πολλαπλασιάζεται η ποσότητα του ρεύματος/ένωσης. Το διάνυσμα έχει έντεκα διαστάσεις, όσοι και οι δείκτες.

iii. Από το άθροισμα των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων των ρευμάτων προκύπτουν οι συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος.

iv. Η συνολική επιβάρυνση για τους δέκα πρώτους δείκτες κανονικοποιείται.

Βήμα 7: Σύγκριση των σεναρίων και σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των σεναρίων συγκρίνονται και αξιολογείται η επίδοση του συστήματος μετά την εφαρμογή των συμβιωτικών δράσεων.

3 Μελέτη Περίπτωσης

Η μεθοδολογία που αναπτύχτηκε στις προηγούμενες ενότητες εφαρμόζεται σε μία μελέτη περίπτωσης. Οι μονάδες που έχουν επιλέγει για τη δημιουργία του παραδείγματος υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο και οι δυναμικότητές τους είναι αντίστοιχες με τις δυναμικότητες υπαρκτών μονάδων.

3.1 Σενάριο βάσης

Έστω μία πλασματική ΒΙ.ΠΕ. στην οποία υπάρχουν κάποιες βιομηχανικές μονάδες, μεταξύ αυτών μία τσιμεντοβιομηχανία και μία ζυθοποιία. Στις υποδομές της περιοχής υπάρχει μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας υγρών απόβλητων. Οι τρεις αυτές μονάδες αποτελούν το σύστημα της μελέτης περίπτωσης. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στις παρυφές του αστικού ιστού μιας πόλης και σε σχετικά κοντινή απόσταση από μονάδες γεωργικής παραγωγής κριθαριού.

3.1.1 Ανάλυση και κατηγοριοποίηση εισροών και εκροών

Ζυθοποιία

Το κριθάρι βυνοποιείται, δηλαδή αφήνεται να βλαστήσει μερικώς και να αναπτύξει χρήσιμα ένζυμα. Η βύνη αλέθεται με νερό υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Κατά το στάδιο αυτό τα ένζυμα διασπούν το άμυλο της βύνης σε ζυμώσιμα σάκχαρα. Το μίγμα βράζεται με την προσθήκη του λυκίσκου για να παραχθεί ο μούστος της μπύρας, το ζυθογλεύκος. Στη συνέχεια το ζυθογλεύκος αερίζεται και αμέσως μετά προστίθεται η μαγιά. Η μαγιά μεταβολίζει τα ζυμώσιμα σάκχαρα σε αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Τελικά, ο ζύθος περνάει από σήτες και φίλτρα πριν συσκευασθεί, (Αθηναϊκή Ζυθοποιία, 2006).

Στην ανάλυση της ζυθοποιίας περιλαμβάνονται οι εξής διεργασίες:

1. βυνοποίηση του κριθαριού,
2. παραγωγή ζύθου,
3. πρωτογενής επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Το ρεύμα αναφοράς είναι η παραγωγή ενός τόνου ζύθου και η ετήσια δυναμικότητα στη βάση της οποίας αναπτύσσονται τα σενάρια συμβίωσης είναι 55,000 τόνοι.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι εισροές και οι εκροές της ζυθοποιίας που προκύπτουν από την παραγωγή ενός τόνου ζύθου.

Πίνακας 6: Δεδομένα Μονάδας Ζυθοποιίας (ανά τόνο ζύθου)

	Ποσότητα	Μονάδα	Πηγή
Προϊόντα			
Ζύθος	1	ton	
Ενεργειακές ανάγκες			
Ηλεκτρισμός	93	kWh	(Αθηναϊκή Ζυθοποιία, 2006), (Εταιρία Φυσικών Πόρων Καναδά, 2013)
Πετρέλαιο	0.00593	ton	
Φυσικό αέριο	0.010949	ton	
Ανάγκες σε πρώτες ύλες			
Κριθάρι	0.18	ton	(Food and Agiculture Organization, 2009)
Λυκίσκος	0.0015	ton	
Μαγιά	6	lt	
Νερό	5	m^3	
Εκπομπές ρύπων προς ατμόσφαιρα			
SO_2	0.00003	ton	(National Pollutant Inventory, 1999), (Emission Factor Documentation for AP-42, Section 9.12.1, Malt Beverages, 1996)
Ατμός	0.15	ton	
Αιθανόλη	0.00022	ton	
CO_2	0.05	ton	
Στερεά απόβλητα			
Υπόλειμμα λυκίσκου	0.00166	ton	(Hardwick, 1994)
Υπολείμματα κριθαριού	0.14	ton	
Πολτός πυριτάλευρου	0.002	ton	
Παραπροϊόντα			
Ίζημα ζυθογλεύκους	0.0035	ton	(MaltingandBrewingResource, 2012), (Hardwick, 1994)
Υπόλειμμα μαγιάς	0.003	ton	
Υγρά απόβλητα			
Προς μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	3.71	m^3	(Sharda, Sharma, & Sharwan, 2013)
Περιεκτικότητα σε BOD	0.01193	ton	

Τσιμεντοβιομηχανία

Η παραγωγική διαδικασία ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- **Βήμα 1: εξόρυξη και προετοιμασία πρώτων υλών**
  Οι πρώτες ύλες που απαιτούνται για την παραγωγή τσιμέντου εξορύσσονται από τα λατομεία (ασβεστόλιθος, άργιλος, σχιστόλιθος, κλπ.) μετά από γεωλογικές έρευνες και χημικές αναλύσεις, σε συγκεκριμένες ποσότητες και αναλογίες. Στη συνέχεια συνθλίβονται και μεταφέρονται για αποθήκευση στην εργοστασιακή μονάδα, (Lafarge, 2015).

- **Βήμα 2: Άλεση πρώτων υλών και έψηση**
  Τα υλικά αλέθονται σε μία πολύ λεπτή πούδρα, ένα μείγμα φαρίνας. Το μίγμα υλικών ομογενοποιείται, προθερμαίνεται και στη συνέχεια οδηγείται στην κάμινο, η οποία θερμαίνεται με φλόγα που μπορεί να φθάσει τους 2.000 ^{o}C. Το μείγμα ψήνεται σε θερμοκρασία 1.500 ^{o}C. Σε αυτή τη θερμοκρασία και μετά από χημικές αντιδράσεις προκύπτει το κλίνκερ, η βάση για την παρασκευή κάθε είδους τσιμέντου. Στη συνέχεια το κλίνκερ ψύχεται απότομα με ροή αέρα και αποθηκεύεται. Το κλίνκερ μπορεί να διατεθεί στην αγορά ως έχει (Lafarge, 2015).

- **Βήμα 3: Άλεση τσιμέντου και διανομή**
  Το κλίνκερ μαζί με το γύψο αλέθονται σε πολύ λεπτή σκόνη, το γνωστό τσιμέντο. Σε αυτό το στάδιο μπορούν να προστεθούν μαζί με γύψο διάφορα άλλα υλικά, τα οποία λέγονται πρόσθετα. Χρησιμοποιώντας τα πρόσθετα σε διάφορες αναλογίες προκύπτουν διαφορετικοί τύποι τσιμέντου. Το τσιμέντο αποθηκεύεται σε σιλό μέχρι να αποσταλεί χύδην ή σακευμένο στην αγορά, (Lafarge, 2015).
  Στην ανάλυση της μονάδας αναφοράς περιλαμβάνονται οι εξής διεργασίες:

  1. Παραγωγή κλίνκερ
  2. Παραγωγή τσιμέντου τύπου 4

3. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων ώστε να έχουν ποιοτικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για την επεξεργασία στην κεντρική μονάδα υγρών αποβλήτων.

Το ρεύμα αναφοράς είναι η παραγωγή ενός τόνου τσιμέντου τύπου 4 και η ετήσια δυναμικότητα στη βάση της οποίας τα σενάρια συμβίωσης είναι 1,000,000 τόνοι. Για κάθε τόνο παραγόμενου τσιμέντου τύπου 4 παράγονται 0.35 τόνοι κλίνκερ που διατίθεται προς πώληση.

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται αναλυτικά τα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα της τσιμεντοβιομηχανίας.

Πίνακας 7: Δεδομένα Τσιμεντοβιομηχανίας

	Ποσότητα	Μονάδα	Πηγή
Προϊόντα			
Τσιμέντου τύπου 4	1	ton	
Κλίνκερ	0.35	ton	
Ενεργειακές ανάγκες			
Ηλεκτρισμός	142.85	kWh	(Τέας, Καλημέρης, Ριζιώτη, & Χανιωτάκης, 2005), (Τσακαλάκης , 2010)
Πετ κοκ	0.15905	ton	
Λιγνίτης	0.04317	ton	
Λοιπά στερεά καύσιμα	0.01363	ton	
Ελαστικά	0.00303	ton	
Γλυκερίνη	0.00196	ton	
Βαρέα έλαια	0.00014	ton	
Ανάγκες σε πρώτες ύλες			
Ασβεστόλιθος	1.154	ton	(Τσίμας & Τσιβιλής, 2004), (Τιταν Α.Ε., 2012), (Brown, Hamel, & Hedman, 1950)
Άργιλος	0.31	ton	
Ποζολάνες	0.18	ton	
Γύψος	0.07	ton	
Τέφρα	0.0593	ton	
Σιδηροπυρίτης	0.0127	ton	
Σχιστόλιθος	0.008	ton	
Νερό	0.32	m^3	
Εκπομπές ρύπων προς ατμόσφαιρα			
SO_x	0.0002	ton	(Valderrama, Granados, Cortina, Gasol, Guillem, & Josa, 2012), (Τιταν Α.Ε., 2012)
NO_x	0.00184	ton	
CO_2	0.6782	ton	
Θερμός αέρας (με CO2)	4.12	ton	
Σκόνη	0.00008	ton	

	Ποσότητα	Μονάδα	Πηγή
Υγρά απόβλητα			
Υγρά απόβλητα	0.2025	m^3	(Α.Ε. Τσιμέντων TITAN, 2013)
Χλωρίνη	0.001	ton	
Αέρια απόβλητα βαρέα μέταλλα			
Τέφρα	0.005	ton	(Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, 1998), (Α.Ε. Τσιμέντων TITAN, 2013), (Brown, Hamel, & Hedman, 1950)
Κάδμιο	0.00203	10^{-3} ton	
Αντιμόνιο	0.00675	10^{-3} ton	
Βηρύλλιο	0.00675	10^{-3} ton	
Σελήνιο	0.00675	10^{-3} ton	
Κασσίτερος	0.03375	10^{-3} ton	
Αρσενικό	0.054	10^{-3} ton	
Κοβάλτιο	0.0675	10^{-3} ton	
Μόλυβδος	0.135	10^{-3} ton	
Νικέλιο	0.135	10^{-3} ton	
Χαλκός	0.135	10^{-3} ton	
Χρώμιο	0.2025	10^{-3} ton	
Υδράργυρος	0.000675	10^{-3} ton	
Θάλειο	0.0027	10^{-3} ton	
Ψευδάργυρος	0.675	10^{-3} ton	

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (ΚΜΕΥΑ)

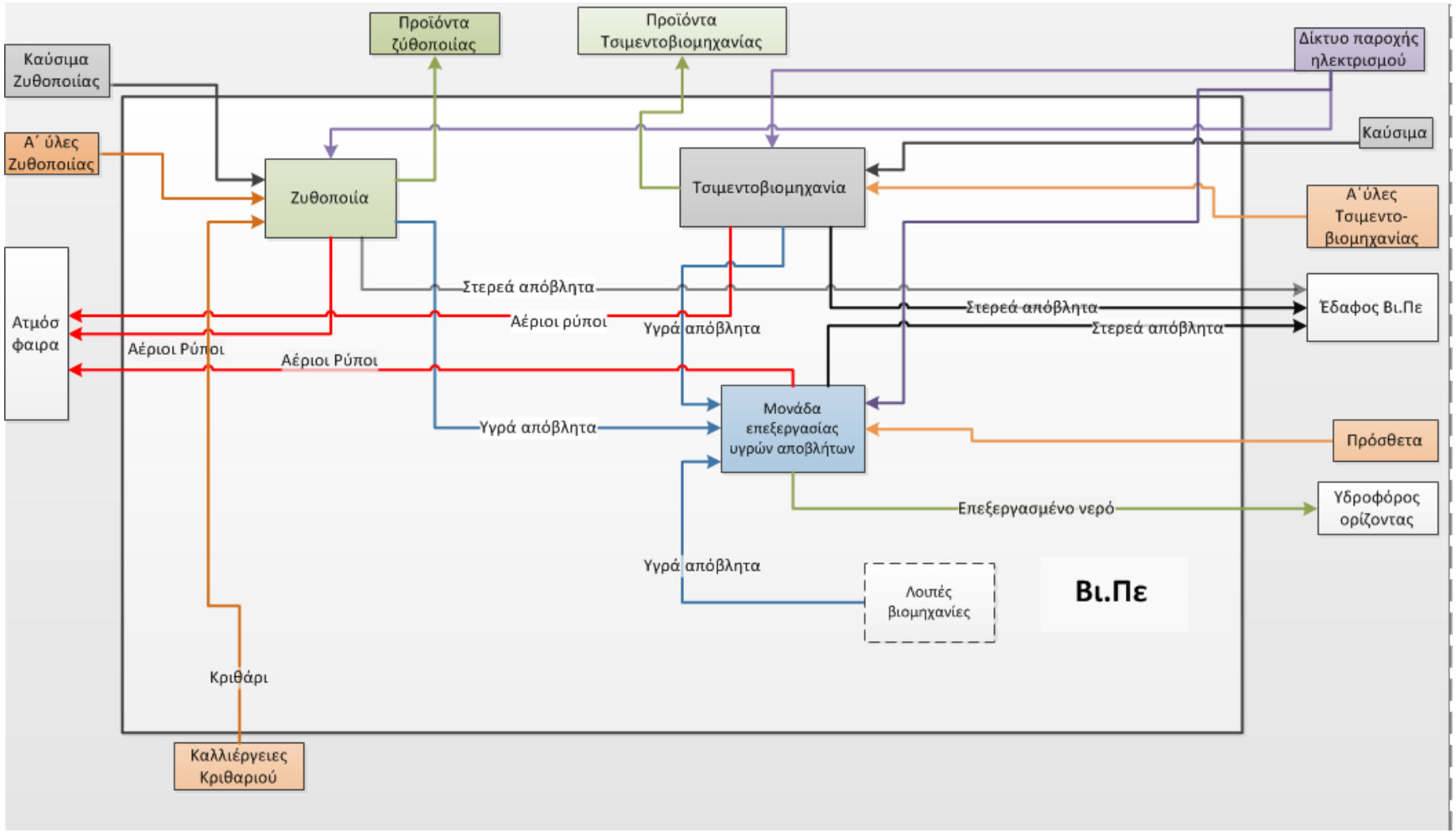
Η μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εντάσσεται στις υποδομές της ΒΙ.ΠΕ.. Δέχεται ρεύματα υγρών αποβλήτων από τις βιομηχανικές μονάδες που ανήκουν στα όρια του συστήματος μελέτης αλλά και από βιομηχανικές δραστηριότητες εκτός αυτού (όχι μόνο από Τσιμεντοβιομηχανία και Ζυθοποιία). Στην ΚΜΕΥΑ πραγματοποιείται φυσική και χημική σταθεροποίηση (Kohler, Hellweg, Recan, & Hungerbuhler, 2007). Τα στερεά καθιζάνουν με τη χρήση ειδικών προσθέτων όπως ο $FeCl_3$ δημιουργώντας τη λάσπη (Doka, 2009), ένα μικρό κομμάτι εξατμίζεται κατά τον αερισμό, ενώ ρυθμίζεται και το ph. Το επεξεργασμένο υδατικό ρεύμα, που προκύπτει, είναι κατάλληλο για χρήση ως νερό διεργασίας.
Το ρεύμα αναφοράς είναι το ένα κυβικό μέτρο εξερχόμενου επεξεργασμένου νερού. Η ετήσια δυναμικότητα για την οποία δημιουργούνται τα σενάρια συμβίωσης είναι 730,000 m^3 επεξεργασμένου νερού.

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται οι εισροές και οι εκροές της ΚΜΕΥΑ για ένα κυβικό μέτρο επεξεργασμένου νερού, ενώ στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση του σεναρίου βάσης.

Πίνακας 8: Δεδομένα ΚΜΕΥΑ

	Ποσότητα	Μονάδα	Πηγή
Ρεύμα αναφοράς			
Επεξεργασμένο νερό	1	m3	
Ενεργειακές ανάγκες			
Ηλεκτρισμός	3.723	kWh	
Ανάγκες σε πρόσθετα			
CaO	0.20408	kg	(Γρηγοροπούλου, Λυμπεράτος , Χαλουλάκου, & Βλυσίδης, 2013), (Doka, 2009)
$FeCl_3$	0.40816	kg	
Χλωρίνη	0.02041	kg	
Σύσταση εξερχόμενου ρεύματος			
Cl	0.32196	kg	(Kohler, Hellweg, Recan, & Hungerbuhler, 2007), (Risch, Boutin, Roux, Gillot, & Héduit, 2011)
COD	0.21490	kg	
Cr	$6.85*10^{-5}$	kg	
PO_4-	0.00674	kg	
TOC	0.14796	kg	
NH_4+	0.00132	kg	
N_{total}	0.07138	kg	
NO_2-	$9.59*10^{-5}$	kg	
NO_3-	0.00827	kg	
Σύσταση λάσπης			
Cl-	0.00458	kg	(Kohler, Hellweg, Recan, & Hungerbuhler, 2007), (Risch, Boutin, Roux, Gillot, & Héduit, 2011)
Cr	0.00014	kg	
PO_4-	0.07615	kg	
TOC	0.36362	kg	
NH_4+	0.00049	kg	
N_{total}	0.03748	kg	
NO_2-	$2.33*10^{-6}$	kg	
NO_3-	0.00108	kg	
Παραγόμενη λάσπη	0.81633	kg	

	Ποσότητα	Μονάδα	Πηγή
Σύσταση εξατμιζόμενου ρεύματος			
CH_4	0.44184	kg	(Kohler, Hellweg, Recan, & Hungerbuhler, 2007), (Risch, Boutin, Roux, Gillot, & Héduit, 2011)
N_2O	0.03130	kg	
Αέριες εκπομπές οργαν. C	0.08078	kg	
Απώλειες εξάτμισης	15.3061	kg	
TOC	0.15429	kg	
NH_3	0.00074	kg	
N_{total}	0.05338	kg	
NO_2-	$5.48*10^{-5}$	kg	
CO_2	1.19796	kg	
NO_3-	0.03195	kg	



Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση Σεναρίου Βάσης

3.1.2 Αναζήτηση πιθανών συνεργειών

Συμφωνά με το Βήμα 3 αναζητούνται οι πιθανές συμβιωτικές δράσεις, οι οποίες και καταγράφονται. Για την εύρεση και καταγραφή των συνεργειών απαιτείται η καταγραφή των κλάσεων των ρευμάτων της κάθε μονάδας. Οι κλάσεις των ρευμάτων των υπό μελέτη μονάδων παρουσιάζονται στους Πίνακες 9, 10 και 11.

Πίνακας 9: Κλάσεις ρευμάτων ζυθοποιίας

Πίνακας κλάσεων ζυθοποιίας	
Κατηγορίες	**Κλάσεις**
Ενεργειακές ανάγκες	
Ηλεκτρισμός	**Ε.1**
Θερμότητα	**Ε.2**
Πρώτες ύλες	
Κριθάρι	**7.Α.i**
Λυκίσκος	**7.Α.i**
Μαγιά	**8.Α.i**
Παραπροϊόντα/απόβλητα	
Υπόλειμμα λυκίσκου	**7.Β.ii.β**
Υπόλειμμα κριθαριού	**7.Β.ii.β**
Πολτός πυριτάλευρου	**-**
Ίζημα ζυθογλεύκους	**7.Β.ii.γ**
Υπόλειμμα μαγιάς	**8.Α.i**
Νερό	
Εξερχόμενο νερό (υγρά απόβλητα)	**Ν.4.Α**
Εισερχόμενο νερό	**Ν.2.Α**

Πίνακας 10: Κλάσεις ρευμάτων ΚΜΕΥΑ

Πίνακας κλάσεων ΚΜΕΥΑ	
Κατηγορίες	Κλάσεις
Νερό	
Προς επεξεργασία (εισερχόμενο	N.4.A
Εξερχόμενο (επεξεργασμένο	N.3.A
Ενεργειακές ανάγκες	
Ηλεκτρισμός	E.1
Πρώτες ύλες	
CaO	5.D.i
FeCl3	5.C.i
Χλωρίνη	Στοιχείο
Απόβλητα/Παραπροϊόντα	
Παραγόμενη λάσπη	7.B.ii.γ

Πίνακας 11: Κλάσεις ρευμάτων τσιμεντοβιομηχανίας

Πίνακας κλάσεων τσιμεντοβιομηχανίας	
Κατηγορίες	Κλάσεις
Ενεργειακές ανάγκες	
Ηλεκτρισμός	E.1
Θερμότητα	E.2
Πρώτες ύλες	
Ασβεστόλιθος	5.D.i
Άργιλος	5.I.viii
Ποζολάνες	5.I.vii/ 5.I.i
Γύψος	5.I.viii
Τέφρα	5.I.vii
Σιδηροπυρίτης	5.B.i
Σχιστόλιθος	5.I.viii
Νερό	
Εξερχόμενο νερό (υγρά απόβλητα)	N.4.A
Εισερχόμενο νερό (νερό διεργασιών)	N.3.A
Απόβλητα/παραπροϊόντα	
Βαρέα μέταλλα	2.B.v
Τέφρα	5.I.vii
Χλωρίνη	Στοιχείο
Εξερχόμενη ενέργεια	
Θερμός ατμός	E.2

Πιθανές συμβιωτικές δράσεις

Οι πιθανές συνέργειες που προκύπτουν σύμφωνα με τα στάδια αναζήτησης συμβατών κλάσεων, όπως περιγράφεται στο *Βήμα 3,* του κεφαλαίου 2.1, είναι οι παρακάτω:

1. **Χλωρίνη** Τσιμεντοβιομηχανίας→ **Α΄ ύλες** ΚΜΕΥΑ
2. **Θερμός αέρας** Τσιμεντοβιομηχανίας→ **Ενεργειακές ανάγκες** Ζυθοποιίας
3. **Επεξεργασμένο νερό** ΚΜΕΥΑ→ **Εισερχόμενο νερό** Τσιμεντοβιομηχανίας
4. **Υπόλειμμα κριθαριού** Ζυθοποιίας→ **Α΄ ύλες** Τσιμεντοβιομηχανίας
5. **Τέφρα** Τσιμεντοβιομηχανίας → **Α΄ ύλες** Τσιμεντοβιομηχανίας

3.1.3 Έλεγχος συμβατότητας και δυνατότητας πραγματοποίησης συμβιωτικών δράσεων

Οι τέσσερεις πιθανές συμβιωτικές δράσεις ελέγχονται ως προς τη συμβατότητα και τη δυνατότητα πραγματοποίησης τους. Εκείνες οι πιθανές συνέργειες, που μπορούν να υλοποιηθούν σύμφωνα με το 4ο Βήμα, δηλαδή οι δυνατές συμβιωτικές δράσεις, καταγράφονται.

Η πρώτη πιθανή συμβιωτική δράση (**Χλωρίνη** Τσιμεντοβιομηχανίας→ **Α΄ ύλες** ΚΜΕΥΑ) κρίνεται μη πραγματοποιήσιμη διότι η απομόνωση της χλωρίνης από το ρεύμα των υγρών αποβλήτων της τσιμεντοβιομηχανίας είναι μη συμφέρουσα, καθώς η χλωρίνη που επρόκειτο να διαχωριστεί βρίσκεται σε ένα ρεύμα που κατευθύνεται προς την ΚΜΕΥΑ για να επεξεργαστεί, στην ίδια μονάδα δηλαδή που θα κατευθυνόταν και θα χρησιμοποιούταν η χλωρίνη και μάλιστα με σκοπό να επεξεργαστεί τα εισερχόμενα απόβλητα.

Η δεύτερη πιθανή συμβιωτική δράση (**Θερμός αέρας** Τσιμεντοβιομηχανίας→ **Ενεργειακές ανάγκες** Ζυθοποιίας) κρίνεται μη πραγματοποιήσιμη. Ο λόγος είναι η χαμηλή ποιότητα του ατμού. Η τσιμεντοβιομηχανία χρησιμοποιεί ένα σύστημα βελτιστοποίησης της ενεργειακής της απόδοσης. Έτσι, ο αέρας που εξέρχεται είναι μεν σχετικά θερμός, αλλά όχι αρκετά θερμός ούτε σε

κατάλληλη πίεση ώστε να διατηρήσει κατά τη μεταφορά ικανό θερμαντικό φορτίο για να θερμάνει μία άλλη μονάδα.

Η Τρίτη πιθανή συμβιωτική δράση (**Επεξεργασμένο νερό** ΚΜΕΥΑ→ **Εισερχόμενο νερό** Τσιμεντοβιομηχανίας) είναι πραγματοποιήσιμη. Η σύσταση των εξερχόμενου ρεύματος κρίνεται κατάλληλη για τη χρήση στου στη Τσιμεντοβιομηχανία. Η κύρια χρήση του νερού στη Τσιμεντοβιομηχανία είναι η για ψύξη.

Η τέταρτη πιθανή συμβιωτική δράση (**Υπόλειμμα κριθαριού** Ζυθοποιίας→ **Α΄ ύλες** Τσιμεντοβιομηχανίας) είναι πραγματοποιήσιμη. Η στάχτη των μίσχων του κριθαριού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ποζολανικό υλικό στην τσιμεντοβιομηχανία, (Cobreros, et al., 2015). Η ταυτοποίηση αυτής της συνέργειας υπήρξε αρκετά δύσκολη καθώς απαιτείται να εξεταστούν τα αγροτικά απόβλητα σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του πίνακα αξιοποίησης αγροτικών αποβλήτων (Πίνακας 3).

Η πέμπτη πιθανή συμβιωτική δράση (**Τέφρα** Τσιμεντοβιομηχανίας → **Α΄ ύλες** Τσιμεντοβιομηχανίας) κρίνεται μη πραγματοποιήσιμη. Η περίπτωση αυτή, που είναι ουσιαστικά ανακύκλωση ενός ρεύματος όντος της ίδιας μονάδας, κρίνεται μη πραγματοποιήσιμη καθώς η Τσιμεντοβιομηχανία έχει ήδη βελτιστοποιήσει τις δυνατότητες εσωτερικής ανακύκλωσης. Αυτό το εξερχόμενο ρεύμα είναι το κομμάτι που δε μπορεί να ανακυκλωθεί.

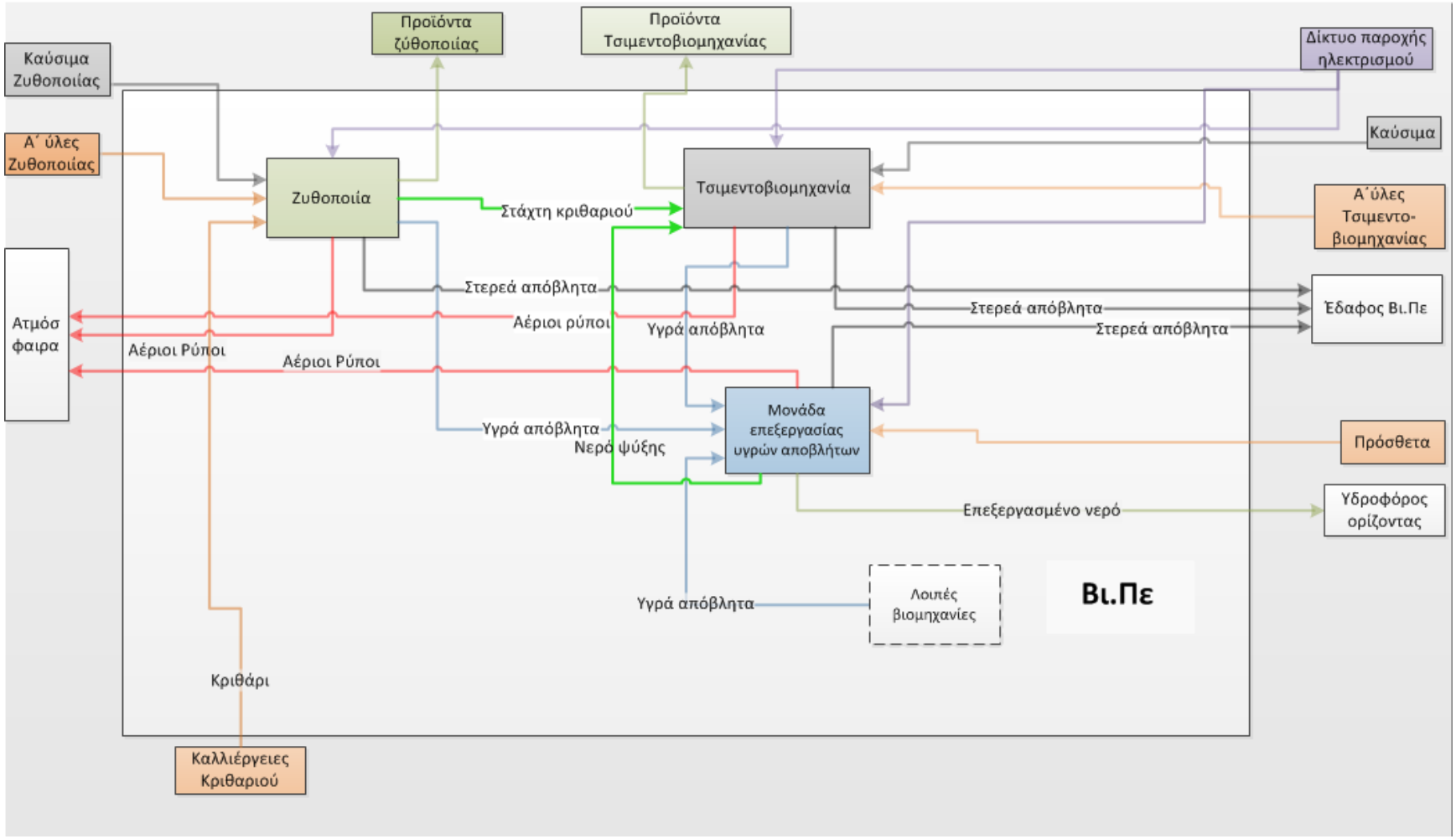
Επομένως, οι δυνατές συνέργειες είναι οι:

1. **Επεξεργασμένο νερό** ΚΜΕΥΑ→ **Εισερχόμενο νερό** Τσιμεντοβιομηχανίας
2. **Υπόλειμμα κριθαριού** Ζυθοποιίας→ **Α΄ ύλες** Τσιμεντοβιομηχανίας

3.2 1^{ο} Συμβιωτικό σενάριο

Το πρώτο συμβιωτικό σενάριο προκύπτει με βάση τις δυνατές συμβιωτικές δράσεις. Από πλευράς διαθεσιμότητας, τα επεξεργασμένα απόβλητα από την ΚΜΕΥΑ καλύπτουν τις συνολικές απαιτήσεις της τσιμεντοβιομηχανίας σε νερό διεργασιών. Η χρήση της στάχτης των μίσχων του κριθαριού που παράγονται από τη ζυθοποιία ως ποζολανικό υλικό καλύπτει μόλις το 0.36% των συνολικών ετησίων αναγκών της τσιμεντοβιομηχανίας σε ποζολάνες. Αυτό οφείλεται στο ότι οι στάχτες του μίσχου του κριθαριού αποτελούν μόλις το 8.6% της συνολικής μάζας των αποβλήτων της ζυθοποιίας, αλλά και στις διαφορετικές δυναμικότητες των 2 μονάδων, με την τσιμεντοβιομηχανία να παράγει ένα εκατομμύριο τόνους, και τη ζυθοποιία μόλις 55,000 τόνους ετησίως.

Η σχηματική απεικόνιση του πρώτου σεναρίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 11, οπού οι συμβιωτικές ροές αναπαρίστανται με πράσινο χρώμα.



Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση Σεναρίου 1

3.3 2ο Συμβιωτικό σενάριο

Το δεύτερο συμβιωτικό σενάριο βασίζεται στην επιλογή *Βέλτιστων Συμβιωτικών Επεμβάσεων*, συγκεκριμένα εξετάζει τη δημιουργία μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης (ΜΑΧ) και μίας μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).

Θεωρείται η παραδοχή ότι οι ροές των μονάδων αυτών είναι συμβατές με το σύστημα. Συγκεκριμένα, οι ροές εισόδου στη ΜΑΧ είναι βιοδιασπώμενα οργανικά απόβλητα και νερό διεργασιών. Τα ρεύματα εξόδου από τη ΣΗΘ είναι ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και από τη ΜΑΧ εδαφοβελτιωτικό υλικό. Από την ανάλυση των μονάδων του σεναρίου βάσης φαίνεται να υπάρχουν απόβλητα/παραπροϊόντα των τριών αρχικών μονάδων που μπορούν να γίνουν πρώτη ύλη για τη ΜΑΧ και τη ΣΗΘ. Ενώ είναι επίσης ευδιάκριτο πως τα ρεύματα που εξέρχονται από τη ΣΗΘ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ρεύματα εισόδου για τις τρεις μονάδες του Σεναρίου Βάσης.

Μονάδα αναερόβιας χώνευσης (ΜΑΧ)

Αναερόβια χώνευση καλείται η βιολογική επεξεργασία κατά την οποία οργανική ύλη μετατρέπεται σε CH_4 και CO_2 (βιοαέριο) με τη συνδυασμένη δράση μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου.

Η αντίδραση της αναερόβιας χώνευσης περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

Οργανική ύλη + νερό → CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2S + νέα κύτταρα + θερμότητα

Το βιοαέριο που παράγεται είναι μείγμα CH_4 και CO_2 ενδεικτικής σύστασης 60-70% CH_4 και 30-40% CO_2. (Λυμπεράτος, 2013)

Η ΜΑΧ περιλαμβάνει τις εξής επιμέρους διεργασίες:

1) Την προετοιμασία των βιοδιασπώμενων αποβλήτων για τη χώνευση. Σε αυτήν περιλαμβάνεται και η απομάκρυνση του κλάσματος των

απόβλητων που θεωρείται ρυπογόνο και μπορεί να δηλητηριάσει το χωνευτήρα.

2) Τη χώνευση των αποβλήτων σε θερμόφιλο χωνευτήρα.
3) Τη σταθεροποίηση του κομπόστ μετά τη χώνευση για να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό.

Το παραγόμενο βιοαέριο θα χρησιμοποιηθεί σε μία ΣΗΘ. Το ρεύμα αναφοράς είναι η παραγωγή ενός κανονικού κυβικού μέτρου βιοαερίου και η ετήσια δυναμικότητα του χωνευτήρα, στη βάση της οποίας δημιουργούνται τα σενάρια συμβίωσης είναι 10,000 τόνοι βιοδιασπώμενων απορριμμάτων (Jungbluth, 2007).

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι εισροές και οι εκροές της ΜΑΧ για ένα κανονικό κυβικό μέτρο βιοαερίου.

Σημειώνεται πως:

1. Οι ρύποι εκπέμπονται κυρίως κατά τη σταθεροποίηση του κομπόστ.
2. Τα βιοδιασπώμενα απόβλητα αποτελούνται κατά βάση από βιοδιασπώμενα αστικά απορρίμματα, με περιεκτικότητα σε υγρασία 65%.
3. Η αναγκαία ζήτηση σε βιοδιασπώμενα απορρίμματα αντιστοιχεί σε ένα αριθμό κάτοικων περί τους 40000 (Λυμπεράτος, 2013), (Eurostat, 2015).

Πίνακας 12: Δεδομένα Μονάδας Αναερόβιας Χώνευσης

	Ποσότητα	Μονάδα	Πηγή
Ρεύμα αναφοράς			
Παραγόμενο βιοαέριο	1	Nm^3	
Ενεργειακές ανάγκες			
Θερμότητα από μονάδα Σ.Η.Θ.	1.8325	MJ	(Jungbluth, 2007)
Ηλεκτρισμός από μονάδα Σ.Η.Θ.	0.1234	kWh	
Ανάγκες σε πρώτες ύλες			
Βιοδιασπώμενα απόβλητα	9.5238	kg	(National Renewable Energy Laboratory , 2014)
Νερό από Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων	0.003	m^3	
Εκπομπές ρύπων προς ατμόσφαιρα			
CH_4, βιογενές	0.0263	kg	(Jungbluth, 2007)
CO_2, βιογενές	1.2572	kg	
N_2O	0.0003	kg	
H_2S	0.0008	kg	
NH_3	0.0007	kg	
Θερμότητα	0.4422	MJ	
Παραπροϊόντα			
Εδαφοβελτιωτικό	6.7809	kg	(Jungbluth, 2007)

Μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)

Η ΣΗΘ αποτελείται από τις δύο μηχανές εσωτερικής καύσης βιοαερίου και τον πέριξ αυτών εξοπλισμό, δηλαδή την τουρμπίνα ηλεκτροπαραγωγής, τον απομαστευτήρα θερμότητας κλπ. Η δυναμικότητα της κάθε μηχανής είναι 160 kWe. Η μονάδα έχει ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 0.32, και θερμικό βαθμό απόδοσης 0.55. Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι 22.73 MJ/Nm^3. Η διεργασία που περιλαμβάνεται είναι η καύση του βιοαερίου και η συμπαραγωγή θερμότητα και ηλεκτρισμού σε μηχανές "Lamda 1-engine" με καταλυτικό μετατροπέα.

Η μονάδα αναφοράς είναι το κανονικό κυβικό μέτρο βιοαερίου που καίγεται. Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου της ΣΗΘ παρουσιάζονται στον Πίνακα 13. Ρεύμα αναφοράς είναι το ένα κανονικό κυβικό μέτρο καυσίμου βιοαερίου.

Η δυναμικότητα των 160 kWe ανά μηχανή, θεωρώντας ότι οι μηχανές λειτουργούν για 300 μέρες το χρόνο, συνεπάγεται μέγιστη συνολική δυναμικότητα 8,294.4 GJe. Η δυναμικότητα αυτή όμως είναι ανέφικτη, καθώς απαιτεί αναερόβιο χωνευτήρα ετήσιας δυναμικότητας 11,400 τόνων, ενώ στην περίπτωση που μελετάται ο χωνευτήρας έχει δυναμικότητα 10,000 τόνων. Ως εκ τούτου, η ετήσια δυναμικότητα διαμορφώνεται στα 7,272.79 GJe, και στη βάση αυτής δημιουργούνται τα σενάρια συμβίωσης.

Πίνακας 13: Δεδομένα Μονάδας ΣΗΘ

	Ποσότητα	Μονάδα	Πηγή
Ρεύμα αναφοράς			
Καιόμενο βιοαέριο	1	m3	
Προϊόντα			
Ηλεκτρισμός συνολικός	7.2736	MJ	(Jungbluth, 2007)
Θερμότητα συνολική	12.503	MJ	
Ανάγκες σε πρώτες ύλες			
Λιπαντικό	$6.82*10^{-4}$	kg	(Jungbluth, 2007)
Αέρας +5% O_2	3,402,076	kg	Υπολογισμοί
Εκπομπές ρύπων προς ατμόσφαιρα			
NO_2	0,000341	kg	(Jungbluth, 2007)
CO, biogenic	0,000109	kg	
CO_2, biogenic	18,982	kg	
CH_4, biogenic	0,000523	kg	
VOC	4,55E-05	kg	
N_2O	5,68E-05	kg	
SO_2	0,000477	kg	
Pt	1,59E-10	kg	
Θερμός αέρας	2,652,323	kg	
Λοιπά απόβλητα			
Λιπαντικό	0,000682	kg	(Jungbluth, 2007)
Απώλειες θερμότητας	2.95	MJ	

Όπως προκύπτει από την ανάλυση, οι ροές των μονάδων αυτών είναι συμβατές με το υπό μελέτη σύστημα. Συγκεκριμένα, οι ροές εισόδου που απαιτεί η ΜΑΧ, δηλαδή τα βιοδιασπώμενα οργανικά απόβλητα και το νερό διεργασιών, θα μπορούσαν να προέρχονται από τη ζυθοποιία από την ΚΜΕΥΑ, αντίστοιχα.

Οι κλάσεις των ρευμάτων για τις ΜΑΧ και ΣΗΘ παρουσιάζονται στους Πίνακες 14 και15 αντίστοιχα.

Πίνακας 14 Κλάσεις ρευμάτων ΜΑΧ

Πίνακας κλάσεων ΜΑΧ	
Κατηγορίες	**Κλάσεις**
Ενεργειακές ανάγκες	
Θερμότητα	**E.2**
Ηλεκτρισμός	**E.1**
Πρώτες ύλες	
Βιοδιασπώμενα απόβλητα	**7.B**
Παραπροϊόντα	
Εδαφοβελτιωτικό	**7.D.i**
Νερό	
Εισερχόμενο νερό	**N.3.A**

Πίνακας 15: Κλάσεις ρευμάτων μονάδας ΣΗΘ

Πίνακας κλάσεων μονάδας ΣΗΘ	
Κατηγορίες	**Κλάσεις**
Πρώτες ύλες	
Λιπαντικό	**6.B.iii**
Απόβλητα/παραπροϊόντα	
Λιπαντικό	**6.B.iii**
Ηλεκτρισμός	**E.1**
Θερμότητα	**E.2**

Οι πιθανές συνέργειες που προκύπτουν, σύμφωνα με τα στάδια αναζήτησης συμβατών κλάσεων, όπως περιγράφεται στο *Βήμα 3* του κεφαλαίου 2.1, είναι οι παρακάτω (διατηρούνται οι δυνατές συμβιωτικές δράσεις του Σεναρίου 1):

1. **Ίζημα ζυθογλεύκους** Ζυθοποιίας→ **Πρώτες ύλες** ΜΑΧ
2. **Λάσπη ΚΜΕΥΑ→ Πρώτες ύλες ΜΑΧ**
3. **Εξερχόμενο νερό ΚΜΕΥΑ→ Εισερχόμενο νερό ΜΑΧ**
4. **Ηλεκτρισμός από μονάδα ΣΗΘ→ Ενεργειακές ανάγκες Τσιμεντοβιομηχανίας**
5. **Ηλεκτρισμός από μονάδα ΣΗΘ→ Ενεργειακές ανάγκες ΚΜΕΥΑ**
6. **Ηλεκτρισμός από μονάδα ΣΗΘ→ Ενεργειακές ανάγκες Ζυθοποιίας**
7. **Ηλεκτρισμός από μονάδα ΣΗΘ→ Ενεργειακές ανάγκες ΜΑΧ**
8. **Θερμότητα από μονάδα ΣΗΘ→ Ενεργειακές ανάγκες Τσιμεντοβιομηχανίας**
9. **Θερμότητα από μονάδα ΣΗΘ→ Ενεργειακές ανάγκες Ζυθοποιίας**
10. **Θερμότητα από μονάδα ΣΗΘ→ Ενεργειακές ανάγκες ΜΑΧ**

Έλεγχος συμβατότητας και δυνατότητας πραγματοποίησης των πιθανών συμβιωτικών δράσεων

Η 1η πιθανή συμβιωτική δράση (**Ίζημα ζυθογλεύκους** Ζυθοποιίας→ **Πρώτες ύλες** ΜΑΧ) κρίνεται πραγματοποιήσιμη, διότι η σύσταση του ιζήματος ζυθογλεύκους είναι κατάλληλη για να χωνευθεί στη ΜΑΧ (Jungbluth, 2007).

Η 2η πιθανή συμβιωτική δράση (**Λάσπη** ΚΜΕΥΑ→ **Πρώτες ύλες** ΜΑΧ) κρίνεται μη πραγματοποιήσιμη καθώς η σύσταση της λάσπης περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις ενώσεων που πιθανώς δηλητηρίαζαν τον αντιδραστήρα (Kohler, Hellweg, Recan, & Hungerbuhler, 2007) (Jungbluth, 2007).

Η 3η πιθανή συμβιωτική δράση (**Εξερχόμενο νερό** ΚΜΕΥΑ→ **Εισερχόμενο νερό** ΜΑΧ) κρίνεται πραγματοποιήσιμη γιατί η σύσταση του εξερχόμενου νερού διεργασιών από τη ΚΜΕΥΑ είναι συμβατή με τη ζήτηση για νερό διεργασιών της ΜΑΧ (Kohler, Hellweg, Recan, & Hungerbuhler, 2007) (Jungbluth, 2007).

Οι υπόλοιπες πιθανές συμβιωτικές δράσεις αφορούν στην παροχή ηλεκτρισμού και θερμότητας από τη ΣΗΘ στις υπόλοιπες μονάδες. Από τις πιθανές συνέργειες η μόνη μη πραγματοποιήσιμη είναι η 8η (**Θερμότητα** από μονάδα ΣΗΘ→ **Ενεργειακές ανάγκες** Τσιμεντοβιομηχανίας), διότι η ποιότητα της θερμότητας που απαιτεί η τσιμεντοβιομηχανία δε μπορεί να παρασχεθεί από τη μονάδα ΣΗΘ. Μεταξύ των υπολοίπων οι πιθανές συμβιωτικές δράσεις που έχουν προτεραιότητα είναι η 7η και η 10η (**Ηλεκτρισμός & Θερμότητα** από μονάδα ΣΗΘ→ **Ενεργειακές ανάγκες** ΜΑΧ) καθώς είναι ρεύματα ιδιοκατανάλωσης. Από τις υπόλοιπες πιθανές συμβιωτικές δράσεις επιλέγεται να δοθεί προτεραιότητα σε αυτές που συνδυάζουν την απαίτηση για ηλεκτρισμό και θερμότητα, δηλαδή στην 6η και 9η πιθανή συμβιωτική δράση (**Ηλεκτρισμός & Θερμότητα** από μονάδα ΣΗΘ→ **Ενεργειακές ανάγκες** Ζυθοποιία).

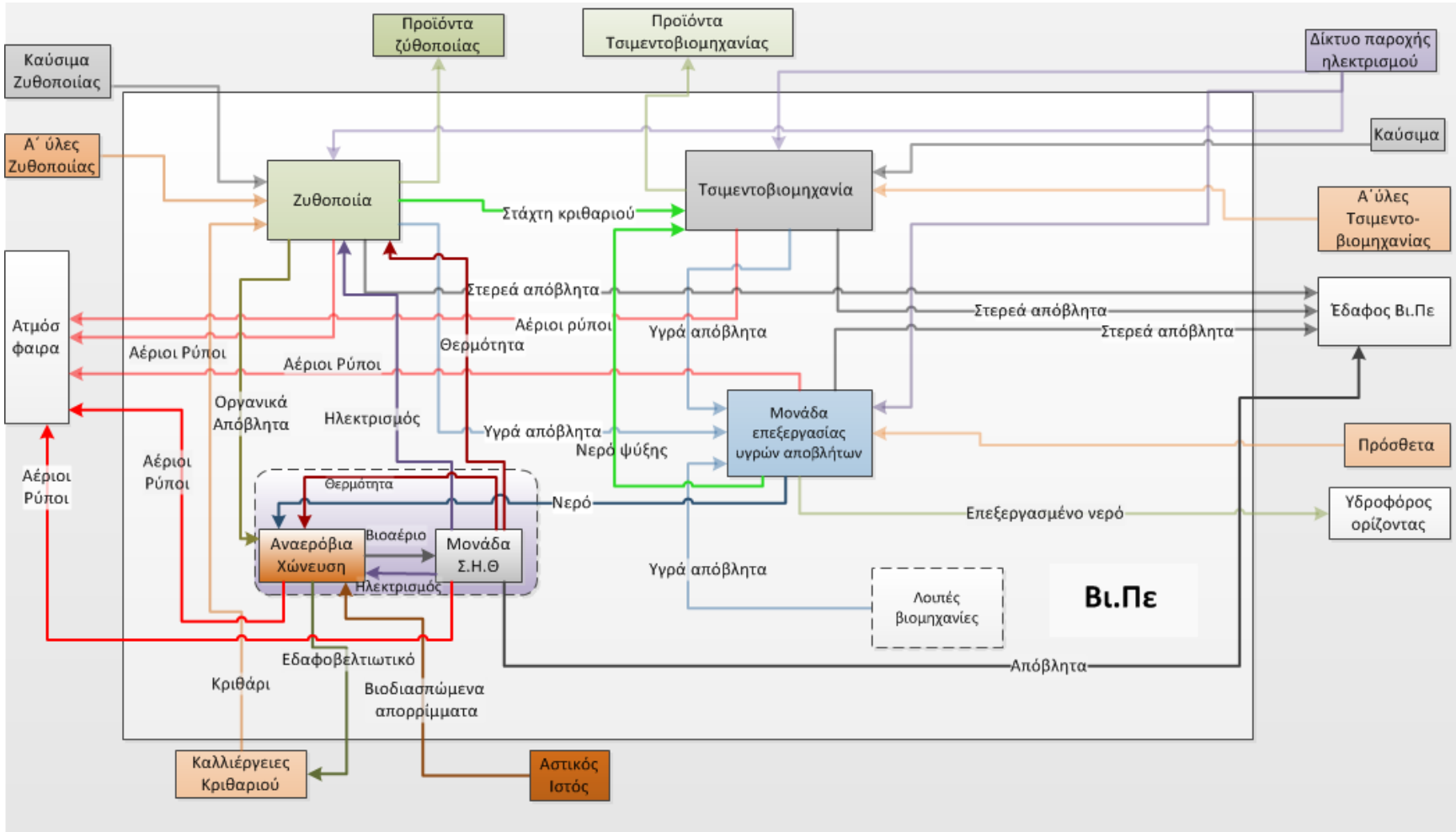
Στο σημείο αυτό αναφέρεται μία άλλη πιθανή συμβιωτική δράση που είναι πραγματοποιήσιμη, αλλά δεν καταγράφεται γιατί είναι εκτός των ορίων του συστήματος. Η συμβιωτική δράση είναι η **Εδαφοβελτιωτικό** από ΜΑΧ→ **Λίπασμα** για καλλιέργειες κριθαριού που τροφοδοτούν τη ζυθοποιία.

Επομένως, οι δυνατές συνέργειες του Σεναρίου 2 είναι οι:

1. **Ίζημα ζυθογλεύκους** Ζυθοποιίας→ **Πρώτες ύλες** ΜΑΧ
2. **Εξερχόμενο νερό** ΚΜΕΥΑ→ **Εισερχόμενο νερό** ΜΑΧ
3. **Ηλεκτρισμός** από μονάδα ΣΗΘ→ **Ενεργειακές ανάγκες** Ζυθοποιίας
4. **Ηλεκτρισμός** από μονάδα ΣΗΘ→ **Ενεργειακές ανάγκες** ΜΑΧ
5. **Θερμότητα** από μονάδα ΣΗΘ→ **Ενεργειακές ανάγκες** Ζυθοποιίας
6. **Θερμότητα** από μονάδα ΣΗΘ→ **Ενεργειακές ανάγκες** ΜΑΧ

7. **Επεξεργασμένο νερό** ΚΜΕΥΑ→ **Εισερχόμενο νερό** Τσιμεντοβιομηχανίας
8. **Υπόλειμμα κριθαριού** Ζυθοποιίας→ **Α΄ ύλες** Τσιμεντοβιομηχανίας

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση του Σεναρίου 2. Οι συμβιωτικές ροές εμφανίζονται με έντονο χρωματισμό.



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση 2ου Σεναρίου

3.4 Αξιολόγηση συμβιωτικών σεναρίων

3.4.1 Υπολογισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου Βάσης

Διάκριση έμμεσων και άμεσων επιπτώσεων (background / foreground impacts)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής διακρίνει τις επιπτώσεις που προκαλεί το εξεταζόμενο σύστημα στο περιβάλλον σε δύο κατηγορίες: τις άμεσες και τις έμμεσες. Εκείνες που προκαλούνται άμεσα από το σύστημα, για παράδειγμα οι επιπτώσεις που προκαλεί η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα από μία υψικάμινο, ονομάζονται άμεσες επιπτώσεις. Σε αντίθεση με τις άμεσες, οι έμμεσες επιπτώσεις δεν προκαλούνται στα όρια του συστήματος, αλλά μέσω της παραγωγής ή μεταφοράς μιας ροής εντός αυτού. Παράδειγμα μιας έμμεσης επίπτωσης είναι αυτή που προκαλείται από βιομηχανικές δραστηριότητες (π.χ. παράγωγη ηλεκτρικής ενέργειας), που πραγματοποιούνται εκτός του συστήματος μελέτης.

Βήματα υπολογισμού περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Με βάση την παραπάνω διάκριση, πραγματοποιείται ο υπολογισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κάθε μονάδας. Για να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί απαιτείται:

- Ο διαχωρισμός των ρευμάτων (ροών) των μονάδων σε «εισροές/εκροές» και η αναγνώριση ροών που επιφέρουν άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις.
- Η αντιστοίχιση των άμεσων ροών με παράγοντες χαρακτηρισμού ανά κατηγορία επιπτώσεων.

- Η αντιστοίχιση των έμμεσων ροών με δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων σχετικούς με τη διαδικασία παραγωγής τους.
- Ο πολλαπλασιασμός κάθε άμεσης ροής με τον αντίστοιχο παράγοντα χαρακτηρισμού. Με τον τρόπο αυτόν οι άμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Ο πολλαπλασιασμός κάθε έμμεσης ροής με τον αντίστοιχο δείκτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Με τον τρόπο αυτόν οι έμμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Ο υπολογισμός των συνολικών επιπτώσεων της κάθε μονάδας, προκύπτει ως άθροισμα των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων.
- Αθροίζοντας τις συνολικές επιπτώσεις της κάθε μονάδας προκύπτουν οι συνολικές επιπτώσεις του εξεταζόμενου συστήματος.
- Για τους 10 δείκτες της CML baseline μεθόδου πραγματοποιείται κανονικοποίηση.

Από τα παραπάνω βήματα, σημείο κλειδί αποτελεί η επιλογή των παραγόντων χαρακτηρισμού μίας ροής. Ο παράγοντας χαρακτηρισμού εκφράζει τη συνεισφορά μιας χημικής ένωσης σε μία κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για παράδειγμα, οι παράγοντες χαρακτηρισμού για την έκκληση ενός κιλού NOx στην ατμόσφαιρα ανά κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 16.

Πίνακας 16: Παράγοντες χαρακτηρισμού εκπομπής 1 kg NOx στην ατμόσφαιρα

Κατηγορία επιπτώσεων	Τιμή	Μονάδα
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	**-**	kg CO_2-eq
Ευτροφισμός	**0.130**	kg PO_4^{-3}-eq
Οξύνιση	**0.500**	kg SO_2--eq
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	**1.200**	kg 1.4DB-eq
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	**-**	kg 1.4DB-eq
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	**-**	kg 1.4DB-eq
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	**-**	kg 1.4DB-eq
Φωτοχημική οξείδωση	**0.028**	kg C_2H_4-eq
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	**-**	MJ
Εξάντληση γλυκού νερού	**-**	m^3
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	**-**	kg CFC,-eq

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 16, κάθε κιλό εκλυόμενου στην ατμόσφαιρα NOx έχει ισοδύναμη επίπτωση στον ευτροφισμό με την έκκληση 0.13 kg PO_4^{-3}, ενώ η έκκληση NOx δεν επηρεάζει την εξάντληση του γλυκού νερού.

Σε μία προσπάθεια μαθηματικής θεώρησης θα μπορούσε να ειπωθεί πως ο παράγοντας χαρακτηρισμού είναι ένα διάνυσμα με έντεκα διαστάσεις, όσοι και οι περιβαλλοντικοί δείκτες. Για να γίνει ο υπολογισμός των άμεσων περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κάθε ροής πρέπει να πολλαπλασιαστεί το διάνυσμα των παραγόντων χαρακτηρισμού με την ποσότητα της κάθε ροής. Οι παράγοντες χαρακτηρισμού της μεθόδου CML IA (Guinée et al., 2004; http://www.cml.leiden.edu/) χρησιμοποιήθηκαν, διαχωρισμένοι ανάλογα με το πού εκλύονται (ατμόσφαιρα, έδαφος, υδάτινοι αποδέκτες).

Στην περίπτωση σύνθετων ρευμάτων χημικών ενώσεων και οργανικών αποβλήτων, το ρεύμα αναλύεται στις επιμέρους χημικές ενώσεις, επιλέγονται οι παράγοντες χαρακτηρισμού της κάθε ένωσης και πολλαπλασιάζονται με την κατά βάρος περιεκτικότητα του ρεύματος σε αυτές. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το ίζημα του ζυθογλεύκους. Το ρεύμα αυτό είναι το απόβλητο της διαδικασίας βυνοποίησης του κριθαριού στη ζυθοποιία, και η σύστασή του παρουσιάζεται στον Πίνακα 17.

Πίνακας 17: Σύσταση ιζήματος ζυθογλεύκους

Σύσταση ιζήματος ζυθογλεύκους	400-800 g/ton ξηρή βαση
50%	**Πρωτεΐνες**
17.50%	**Πικραντική ουσία ισοχουμουλόνη**
25%	**Πολυφαινόλες**
7.50%	**Άλατα**

Είναι εξαιρετικά δύσκολο να καταστεί γνώστη η ακριβής σύσταση του ιζήματος ζυθογλεύκους, δηλαδή ποιες ακριβώς πρωτεΐνες, ποιες πολυφαινόλες κλπ., το αποτελούν. Για το λόγο αυτό έγιναν παραδοχές σχετικά με τα βασικά συστατικά του ιζήματος, λαμβάνοντας υπόψη την επί τοις εκατό κατά βάρος περιεκτικότητα των πρωτεϊνών σε άζωτο, θείο και άνθρακα, το γενικό μοριακό τύπο της φαινόλης (δομική μονάδα των πολυφαινολών), και την ομάδα των οργανικών ενώσεων στην οποία υπάγεται η πικραντική ουσία ισοχουμουλόνη. Με βάση της παραδοχές αυτές, υπολογίστηκαν οι ποσότητες των επιμέρους συστατικών του ιζήματος και πολλαπλασιάστηκαν με τους αντίστοιχους παράγοντες χαρακτηρισμού για τον υπολογισμό των άμεσων περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 18: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ιζήματος ζυθογλεύκους

Κατηγορία επιπτώσεων	Ίζυμα ζυθογλεύκους/ τον μπύρας	Μονάδα
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	**0**	**kg CO_2,-eq**
Ευτροφισμός	**0.0429**	**kg PO_4-$^{-3}$,-eq**
Οξίνιση	**0**	**kg SO_2,-eq**
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	**0.00106**	**kg 1.4-DB-eq**
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	**0.48131**	**kg 1.4-DB-eq**
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	**2.225**	**kg 1.4-DB-eq**
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	**0.00744**	**kg 1.4-DB-eq**
Φωτοχημική οξείδωση	**0**	**kg C_2H_2,-eq**
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	**0**	**MJ**
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	**0**	**kg CFC,-eq**
Εξάντληση γλυκού νερού	**0**	**m^3**

Αντίστοιχα με τους παράγοντες χαρακτηρισμού, οι δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των έμμεσων επιπτώσεων μπορούν να εκφραστούν ως διανύσματα με έντεκα διαστάσεις, όσοι και οι περιβαλλοντικοί δείκτες. Με το λογισμικό OpenLCA (Aitor P. Acero, 2014) γίνεται ο υπολογισμός των δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τις έμμεσες ροές, δηλαδή των επιπτώσεων από τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εκτός του συστήματος μελέτης, όπως η παράγωγη ηλεκτρικής ενέργειας, η διοχέτευση νερού στο σύστημα και η παραγωγή πρώτων υλών. Οι δείκτες αυτοί είναι ανηγμένοι σε μοναδιαίες ποσότητες παραγόμενης ροής από κάθε δραστηριότητα (m^3 για το νερό, kWh για τον ηλεκτρισμό, τόνος για πρώτες ύλες).

Στους Πίνακες 19 και 20 παρουσιάζονται οι δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τις ενεργειακές ροές της τσιμεντοβιομηχανίας.

Πίνακας 19: Δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Κατηγορία επιπτώσεων	Ηλεκτρική ενέργεια (1 kWh)	Μονάδα
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	1.1048	kg CO_2-eq
Ευτροφισμός	0.0003	kg PO_4^{-3}-eq
Οξίνιση	0.0116	kg SO_2-eq
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	0.0647	kg 1.4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	162.2995	kg 1.4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	0.0028	kg 1.4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	0.0022	kg 1.4-DB-eq
Φωτοχημική οξείδωση	0.0005	kg C_2H_4-eq
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	10.6589	MJ
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	0	kg CFC-11-eq
Εξάντληση γλυκού νερού	0.0016	m^3

Πίνακας 20: Δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων καυσίμων

Κατηγορία επιπτώσεων	Ορυκτά Καύσιμα		Εναλλακτικά καύσιμα	Μονάδα
	Πετ Κοκ (1 kg)	Λιγνίτης (1 ton)		
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	0.1986	36.326	-	kg CO_2-eq
Ευτροφισμός	0.00006	0.009	-	kg PO_4^{-3}-eq
Οξίνιση	0.0011	0.264	-	kg SO_2-eq
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	2.8123	2.128	-	kg 1,4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	3,713.61	13,625	-	kg 1,4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	1.019	0.0732	-	kg 1,4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	0.00003	0.046	-	kg 1,4-DB-eq
Φωτοχημική οξείδωση	0.00008	0	-	kg C_2H_4-eq
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	0.00832	9,498.80	-	MJ
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	0	0	-	kg CFC-11-eq
Εξάντληση γλυκού νερού	0.00159	0.034	-	m^3

Τα εναλλακτικά καύσιμα προέρχονται από ανακυκλωμένα υλικά όπως ελαστικά, χρησιμοποιημένοι διαλύτες, βιομάζα κλπ. Θεωρείται ότι τα ρεύματα αυτά δεν επιφέρουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς αποτελούν παραπροϊόν μίας προηγούμενης δραστηριότητας. Ωστόσο, οι επιπτώσεις από τη χρήση τους εντός του συστήματος λαμβάνονται υπόψη. Για παράδειγμα, η καύση της γλυκερίνης προκαλεί εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες προκαλούν περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η εκτίμηση της επιβάρυνσης αυτής συνυπολογίζεται στις άμεσες επιπτώσεις.

Στον Πίνακα 21 παρουσιάζονται οι δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενδεικτικά για ορισμένες πρώτες ύλες της τσιμεντοβιομηχανίας.

Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι για τη δημιουργία και αξιολόγηση των σεναρίων δεν έχουν συμπεριληφθεί οι επιπτώσεις λόγω μεταφοράς των πρώτων υλών και των καυσίμων, ούτε οι επιπτώσεις από την κατασκευή των μονάδων και του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Πίνακας 21: Δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων πρώτων υλών τσιμεντοβιομηχανίας

Κατηγορία επιπτώσεων	Γύψος (1 ton)	Ποζολάνες (1 ton)	Τέφρα (1 ton)	Μονάδα
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	2.67	126.06	-	kg CO_2,-eq
Ευτροφισμός	0.02	0.03	-	kg PO_4^{-3},-eq
Οξίνιση	0.01	0.1	-	kg SO_2,-eq
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	0.07	353,369.00	-	kg 1.4-DB,-eq
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	123.74	473.56	-	kg 1.4-DB,-eq
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	0	80.02	-	kg 1.4-DB,-eq
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	0	66.8	-	kg 1.4-DB,-eq
Φωτοχημική οξείδωση	0	0.06	-	kg C_2H_2,-eq
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	29.9	2,270.17	-	MJ
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	0	0	-	kg CFC,-eq
Εξάντληση γλυκού νερού	0.00292	1.88	-	m^3

Ένα παράδειγμα υπολογισμού έμμεσων επιπτώσεων λόγω χρήσης πρώτων υλών στην τσιμεντοβιομηχανία είναι το ακόλουθο:

Για την παραγωγή ενός τόνου τσιμέντου 4 (toncemIV) απαιτείται ορισμένη ποσότητα γύψου (c). Πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα c που αντιστοιχεί σε, 0.07 τόνους γύψου, με το διάνυσμα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του γύψου ($\overrightarrow{EI_{gypsum}}$), προκύπτει η συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλεί το εισερχόμενο ρεύμα γύψου στο σύστημα για κάθε μονάδα τελικού προϊόντος τσιμέντου 4 ($\overrightarrow{EI_{Total}}$), σύμφωνα με την Εξίσωση 1:

$$\overrightarrow{EI_{Total}} = c \cdot \overrightarrow{EI_{gypsum}}$$

$$\overrightarrow{EI_{Total}} = 0.07 \frac{ton\ gypsum}{ton\ cement\ IV} \cdot \begin{bmatrix} 2.67 \\ 0.02 \\ 0.01 \\ 0.07 \\ 123.74 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 29.90 \\ 0.00292 \\ 0.00 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} kg\ CO_2 - eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ PO_4^{-3}\text{-}\ eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ SO_2\text{-}\ eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ 1.4DB - eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ 1.4DB - eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ 1.4DB - eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ 1.4DB - eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ C_2H_4 - eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ \mathrm{M}J \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ m^3 \cdot ton\ gypsum^{-1} \\ kg\ CFC - eq \cdot ton\ gypsum^{-1} \end{bmatrix} \cdot$$

Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τις μονάδες του συστήματος σύμφωνα με το Σενάριο Βάσης

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με βάση την ετήσια δυναμικότητα των μονάδων. Οι δυναμικότητες αυτές είναι για την τσιμεντοβιομηχανία ένα εκατομμύριο (10^6) τόνοι τσιμέντου 4, για τη ζυθοποιία 55,000 τόνοι μπύρας, ενώ η ΚΜΕΥΑ επεξεργάζεται 730,000 m^3 ανά έτος. Στους Πίνακες 22, 23 και 24 παρουσιάζονται οι τιμές των επιπτώσεων κάθε μονάδας για το Σενάριο Βάσης.

Πίνακας 22: Επιπτώσεις ζυθοποιίας για το Σενάριο Βάσης

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	16,482,314.60
Ευτροφισμός	kg PO_4-$^{-3}$-eq	164,402.83
Οξίνιση	kg SO_2-eq	221,153.37
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1,4-DB-eq	2,442,271.35
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1,4-DB-eq	1,665,783,832.10
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1,4-DB-eq	572,418.45
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1,4-DB-eq	355,148.45
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	12,570.96
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	264,905,916.01
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	0.48
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	286,885.66

Πίνακας 23: Επιπτώσεων τσιμεντοβιομηχανίας για το Σενάριο Βάσης

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	901,700,861.86
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	306,878.05
Οξίνιση	kg SO_2-eq	3,081,325.44
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	64,551,850,017.43
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	2,867,086,985,333.99
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	968,645,915.90
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	1,603,348,034.00
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	168,807.29
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	3,997,243,258.20
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	391.35
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	1,676,528.61

Πίνακας 24: Επιπτώσεις ΚΜΕΥΑ για το Σενάριο Βάσης

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	19,176,287.90
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	118,885.75
Οξίνιση	kg SO_2-eq	32,948.45
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	2,212,961.56
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	834,097,468.24
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	255,101.10
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	21,063,994.66
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	1,499.99
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	29,912,945.86
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	0.536
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	7,956.20

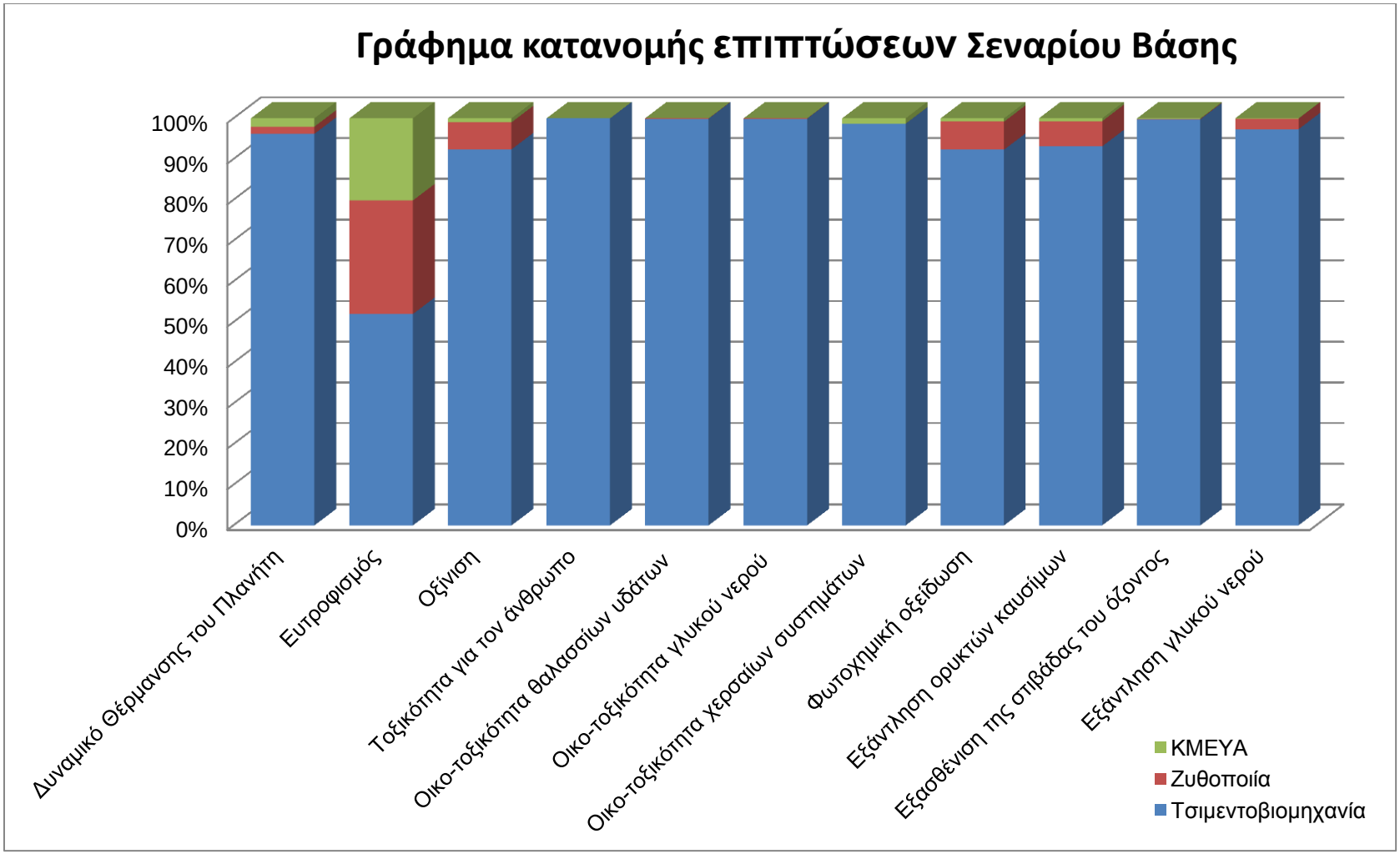
Συνολικές επιπτώσεις σεναρίου βάσης

Αθροίζοντας τις τιμές των τριών παραπάνω πινάκων προκύπτουν οι συνολικές επιπτώσεις του Σεναρίου Βάσης ανά κατηγορία επίπτωσης, και παρουσιάζονται στον Πίνακα 25.

Πίνακας 25: Συνολικός περιβαλλοντικές επιπτώσεων για το Σενάριο Βάσης

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	938,216,424.21
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	590,705.19
Οξίνιση	kg $SO`_2$-eq	3,337,879.83
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	64,556,539,6678.36
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	2,869,668,744,999
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	969,475,558.02
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	1,624,767,972.83
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	185,004.78
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	2,665,612,986.14
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	392.45
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	1,986,572.58

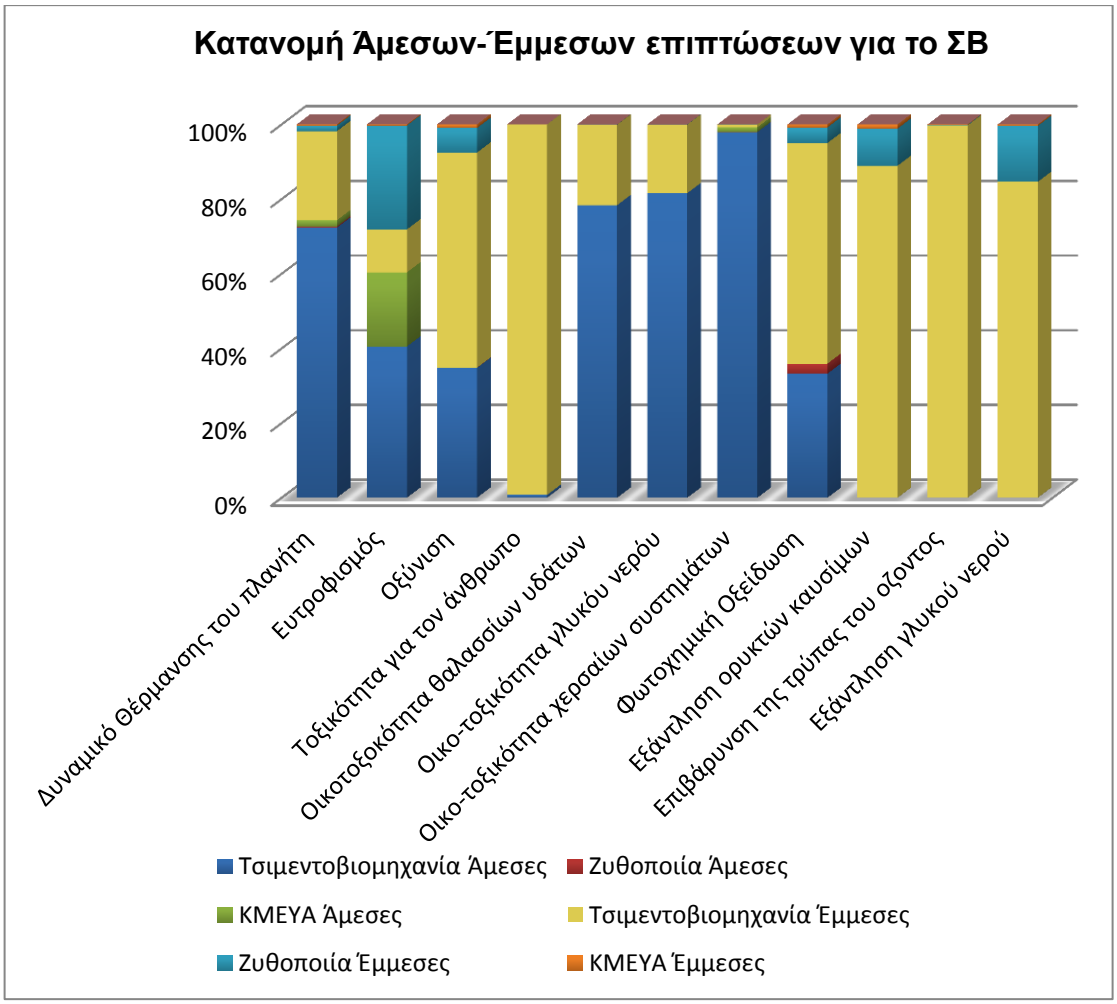
Στην Εικόνα 13 φαίνεται η συνεισφορά κάθε μονάδας ανά κατηγορία επίπτωσης για το Σενάριο Βάσης. Το γράφημα δείχνει ότι η τσιμεντοβιομηχανία έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά σε κάθε κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μονάδες. Αυτό το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο, καθώς η τσιμεντοβιομηχανία είναι η μονάδα με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα.



Εικόνα 13: Συνεισφορά κάθε μονάδας στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το Σενάριο Βάσης

Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται η κατανομή των επιπτώσεων σε άμεσες και έμμεσες για κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Η κατανομή ανά κατηγορία διαφέρει αρκετά. Στους μισούς δείκτες (δηλαδή, Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη, Ευτροφισμός, Οικο-τοξικότητα Θαλασσίων υδάτων, Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού, Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων) επικρατούν οι άμεσες επιπτώσεις, ενώ στους άλλους μισούς (δηλαδή, Οξίνιση, Τοξικότητα για τον Άνθρωπο, Φωτοχημική Οξείδωση, Εξάντληση ορυκτών καυσίμων, Εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος, Εξάντληση γλυκού νερού) επικρατούν οι έμμεσες επιπτώσεις.

Εικόνα 14: Κατανομή Άμεσων-Έμμεσων επιπτώσεων ανά κατηγορία επιπτώσεων για το Σενάριο. Βάσης



Κανονικοποίηση αποτελεσμάτων

Για να εκτιμηθεί η σημαντικότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του υπό μελέτη συστήματος, δηλαδή το πόσο μεγάλες ή μικρές είναι σε σχέση με αυτές που προκαλούνται σε ένα ευρύτερο γεωγραφικό επίπεδο, οι τιμές των δεικτών συγκρίνονται με μία τιμή αναφοράς. Ως γεωγραφικό επίπεδο για την παρούσα ανάλυση επιλέχθηκε η Ευρώπη των 28 (EU25+3, 2000; Wegener Sleeswijk et al., 2008). Τα αποτελέσματα κάθε κατηγορίας επιπτώσεων κανονικοποιούνται με βάση τις προτεινόμενες τιμές αναφοράς για την γεωγραφική αυτή περιοχή για το διάστημα ενός έτους. Οι τιμές αυτών των παραγόντων κανονικοποίησης για την Ευρώπη των 28 προτείνονται από τη μέθοδο CML baseline και παρουσιάζονται στον Πίνακα 26.

Πίνακας 26: Παράγοντες κανονικοποίησης. Πηγή (Institute of Environmental Sciences Leiden University, 2015)

Παράγοντες Κανονικοποιήσης Ε.Ε. 25+3		
Κατηγορία επιπτώσεων	**Τιμή**	**Μονάδα**
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	**5.21E+12**	**kg CO_2-eq. / yr**
Ευτροφισμός	**1.85E+10**	**kg PO_4^{-3}-eq. / yr**
Οξίνιση	**1.68E+10**	**kg SO_2-eq. / yr**
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	**5.00E+11**	**kg 1,4-DCB-eq. / yr**
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	**4.44E+13**	**kg 1,4-DCB-eq. / yr**
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	**2.09E+11**	**kg 1,4-DCB-eq. / yr**
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	**1.16E+11**	**kg 1,4-DCB-eq. / yr**
Φωτοχημική οξείδωση	**1.73E+09**	**kg C_2H_4-eq. / yr**
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	**3.51E+13**	**MJ/yr**
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	**1.02E+07**	**kg CFC-11-eq. / yr**

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την κανονικοποίηση παρουσιάζονται στον Πίνακα 27.

Πίνακας 27: Κανονικοποιημένα αποτελέσματα Σεναρίου Βάσης

Κατηγορία επιπτώσεων	Κανονικοποιημένο αποτέλεσμα
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	1.80E-04
Ευτροφισμός	3.20E-05
Οξίνιση	1.98E-04
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	1.29E-01
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	6.47E-02
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	4.64E-03
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	1.40E-02
Φωτοχημική οξείδωση	1.07E-04
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	7.59E-05
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	3.85E-05

3.4.2 Αξιολόγηση συμβιωτικών σεναρίων και σύγκριση με το Σενάριο Βάσης.

Με τον ίδιο τρόπο που αξιολογήθηκε το Σενάριο Βάσης αξιολογούνται και τα δύο σενάρια συμβίωσης.

Αξιολόγηση σεναρίου 1

Οι μεταβολές στο 1^{ο} σενάριο ως προς το Σενάριο Βάσης είναι δύο:

A. Η παροχή νερού διεργασιών από την ΚΜΕΥΑ στην τσιμεντοβιομηχανία.
B. Η χρήση της στάχτης των αποβλήτων κριθαριού της ζυθοποιίας ως ποζολανικό υλικό στην τσιμεντοβιομηχανία.

Η μονάδα στην οποία πραγματοποιούνται οι μεταβολές είναι αυτή της τσιμεντοβιομηχανίας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τις τσιμεντοβιομηχανίας για το Σενάριο 1 παρουσιάζονται στον Πίνακα 28.

Πίνακας 28: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις τσιμεντοβιομηχανίας για το Σενάριο 1

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	899,671,542.00
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	305,633.42
Οξίνιση	kg SO_2-eq	3,075,683.73
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	64,322,788,527.44
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	2,866,900,591,272.79
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	968,589,238.27
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	1,603,302,941.27
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	163,938.29
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	2,343,295,338.01
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	391.14
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	1,258,510.52

Στον Πίνακα 29 παρουσιάζονται οι συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το 1^{ο} συμβιωτικό σενάριο.

Πίνακας 29: Συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το Σενάριο 1

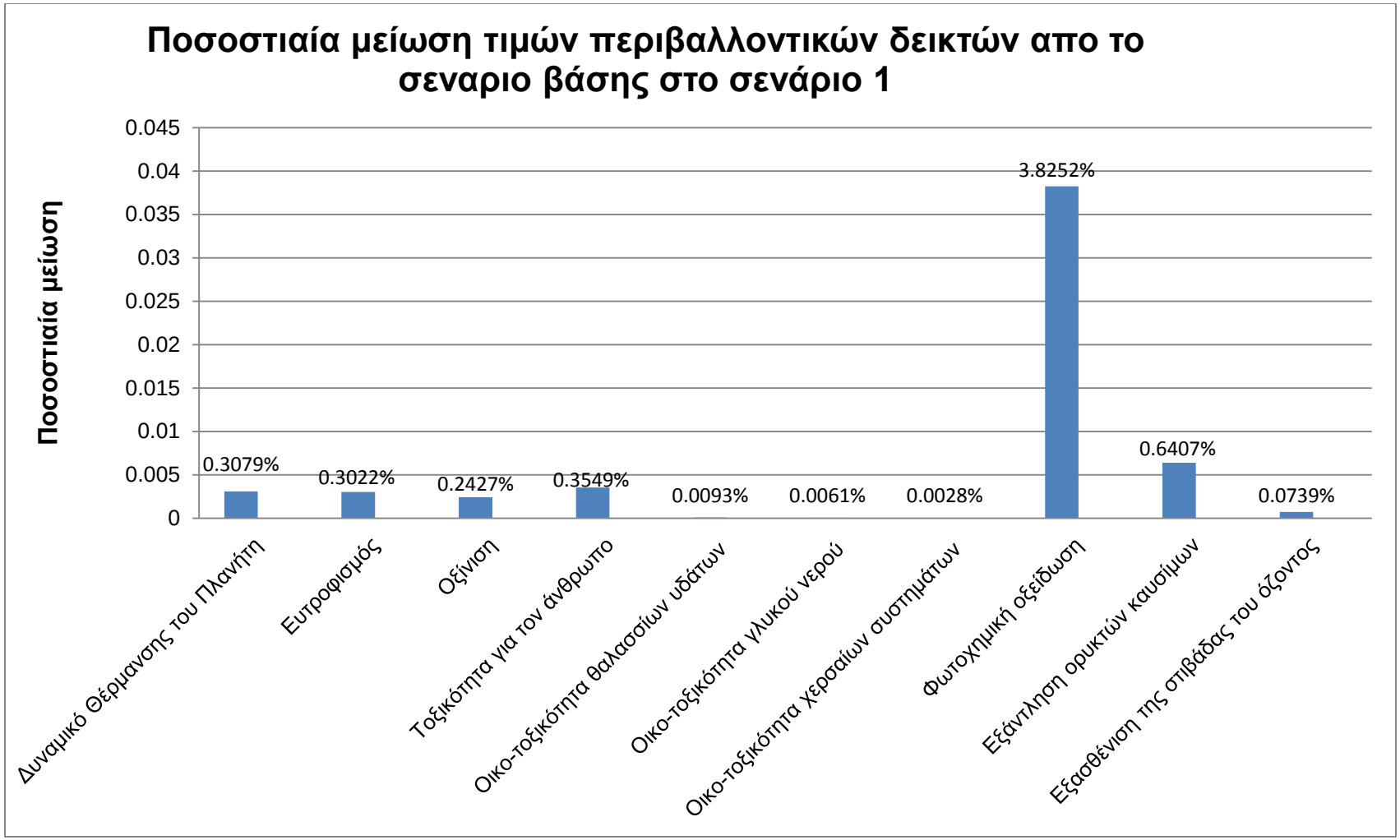
Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	935,330,144.50
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	591,278.63
Οξίνιση	kg SO_2-eq	3,329,785.55
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	64,327,443,760.35
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	2,869,400,498,953.14
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	969,538,719.70
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	1,624,722,492.20
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	178,009.25
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	2,638,114,199.89
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	392.15
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	1,553,352.38

Σύγκριση Σεναρίου 1 με το Σενάριο Βάσης

Η μεταβολή σε απόλυτα μεγέθη των δεικτών από το Σενάριο Βάσης στο Σενάριο 1 καταγράφεται στον Πίνακα 30. Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται γραφικά η ποσοστιαία μείωση των δεικτών.

Πίνακας 30: Μεταβολή επιπτώσεων ανά κατηγορία από το Σενάριο Βάσης στο Σενάριο 1

Κατηγορία επιπτώσεων	Διαφορά	Μονάδα
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	-2,886,279.70	kg CO_2-eq
Ευτροφισμός	-1,783.19	kg PO_4^{-3}-eq
Οξίνιση	-8,094.28	kg SO_2-eq
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	-229,095,976.32	kg 1.4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	-268,272,425.67	kg 1.4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	-58,800.19	kg 1.4-DB-eq
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	-45,888.69	kg 1.4-DB-eq
Φωτοχημική οξείδωση	-6,995.52	kg C_2H_4-eq
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	-27,498,786.24	MJ
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	-0.29	kg CFC-11-eq
Εξάντληση γλυκού νερού	-433,220.20	m^3



Εικόνα 15: Ποσοστιαίες μεταβολές δεικτών επιπτώσεων από το Σενάριο Βάσης στο Σενάριο 1

Κανονικοποίηση αποτελεσμάτων Σεναρίου 1

Για την πραγματοποίηση της κανονικοποίησης χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος και οι παράγοντες κανονικοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στο Σενάριο βάσης (Πίνακας 26). Τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31: Κανονικοποιημένα αποτελέσματα Σεναρίου 1

Κατηγορία επιπτώσεων	Κανονικοποιημένο αποτέλεσμα
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	1.79E-04
Ευτροφισμός	3.20E-05
Οξίνιση	1.98E-04
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	1.29E-01
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	6.46E-02
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	4.64E-03
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	1.40E-02
Φωτοχημική οξείδωση	1.03E-04
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	7.51E-05
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	3.84E-05

Αξιολόγηση Σεναρίου 2

Το 2^{ο} σενάριο περιλαμβάνει την εισαγωγή μίας ΜΑΧ και μίας ΣΗΘ. Η μονάδα θα παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργιά της ΜΑΧ. Η ΜΑΧ επεξεργάζεται βιοδιασπώμενα αστικά απορρίμματα και το παραπροϊόν ζυθογλεύκους που παράγεται από τη ζυθοποιία. Επίσης, οι συνολικές ανάγκες της ΜΑΧ σε νερό διεργασιών καλύπτονται από το νερό που εξέρχεται από την ΚΜΕΥΑ. Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν οι Πίνακες 32 και 33.

Πίνακας 32: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ΜΑΧ

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	786,973.94
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	259.06
Οξίνιση	kg SO_2-eq	1,184.28
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1,4-DB-eq	248.61
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1,4-DB-eq	0
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1,4-DB-eq	0
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1,4-DB-eq	0
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	0
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	0
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	0
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	0

Πίνακας 33: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ΣΗΘ

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	2,025,368.24
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	48.01
Οξίνιση	kg SO_2-eq	787.35
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1,4-DB-eq	757.84
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1,4-DB-eq	502,163.08
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1,4-DB-eq	78.89
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1,4-DB-eq	0.99
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	37.55
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	18.89
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	0.0004
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	5.727

Από τα δεδομένα των δύο πινάκων προκύπτουν οι συνολικές ετήσιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ΜΑΧ και της ΣΗΘ που παρουσιάζονται στον Πίνακα 34. Ενώ στους Πίνακες 35,36 και 37 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις της τσιμεντοβιομηχανίας, της ΚΜΕΥΑ και της ζυθοποιίας αντίστοιχα.

Πίνακας 34: Συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ΜΑΧ & ΣΗΘ

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO2-eq	2,812,342.18
Ευτροφισμός	kg PO4----eq	307.07
Οξίνιση	kg SO2-eq	1,971.63
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1,4-DB-eq	1,006.45
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1,4-DB-eq	502,163.09
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1,4-DB-eq	78.88
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1,4-DB-eq	0.99
Φωτοχημική οξείδωση	kg C2H4-eq	37.55
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	18.88
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	0.00046
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	5.727

Πίνακας 35: Συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τσιμεντοβιομηχανίας για το Σενάριο 2

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	899,671,542.00
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	305,633.42
Οξίνιση	kg SO_2-eq	3,075,683.73
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	64,322,788,527.44
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	2,866,900,591,272.7
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	968,589,238.27
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	1,603,302,941.27
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	163,938.29
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	2,343,295,338.01
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	391.14
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	1,258,510.52

Πίνακας 36: : Συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ΚΜΕΥΑ για το Σενάριο 2

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	19,176,287.90
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	118,885.75
Οξίνιση	kg SO_2-eq	32,948.45
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	2,212,961.56
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	834,097,468.24
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	255,101.10
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	21,063,994.66
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	1,499.99
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	29,912,945.86
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	0.54
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	7,956.20

Πίνακας 37: Συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ζυθοποιίας για το Σενάριο 2

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	13,475,339.69
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	163,699.40
Οξίνιση	kg SO_2-eq	197,449.26
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1,4-DB-eq	2,310,385.47
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1,4-DB-eq	1,336,742,444.00
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1,4-DB-eq	566,087.91
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1,4-DB-eq	350,525.00
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	11,462.51
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	231,321,891.99
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	0.45
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	283,669.85

Από τα δεδομένα των παραπάνω πινάκων προκύπτουν οι συνολικές ετήσιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το Σενάριο 2 και παρουσιάζονται στον Πίνακα 38.

Πίνακας 38: Συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το Σενάριο 2

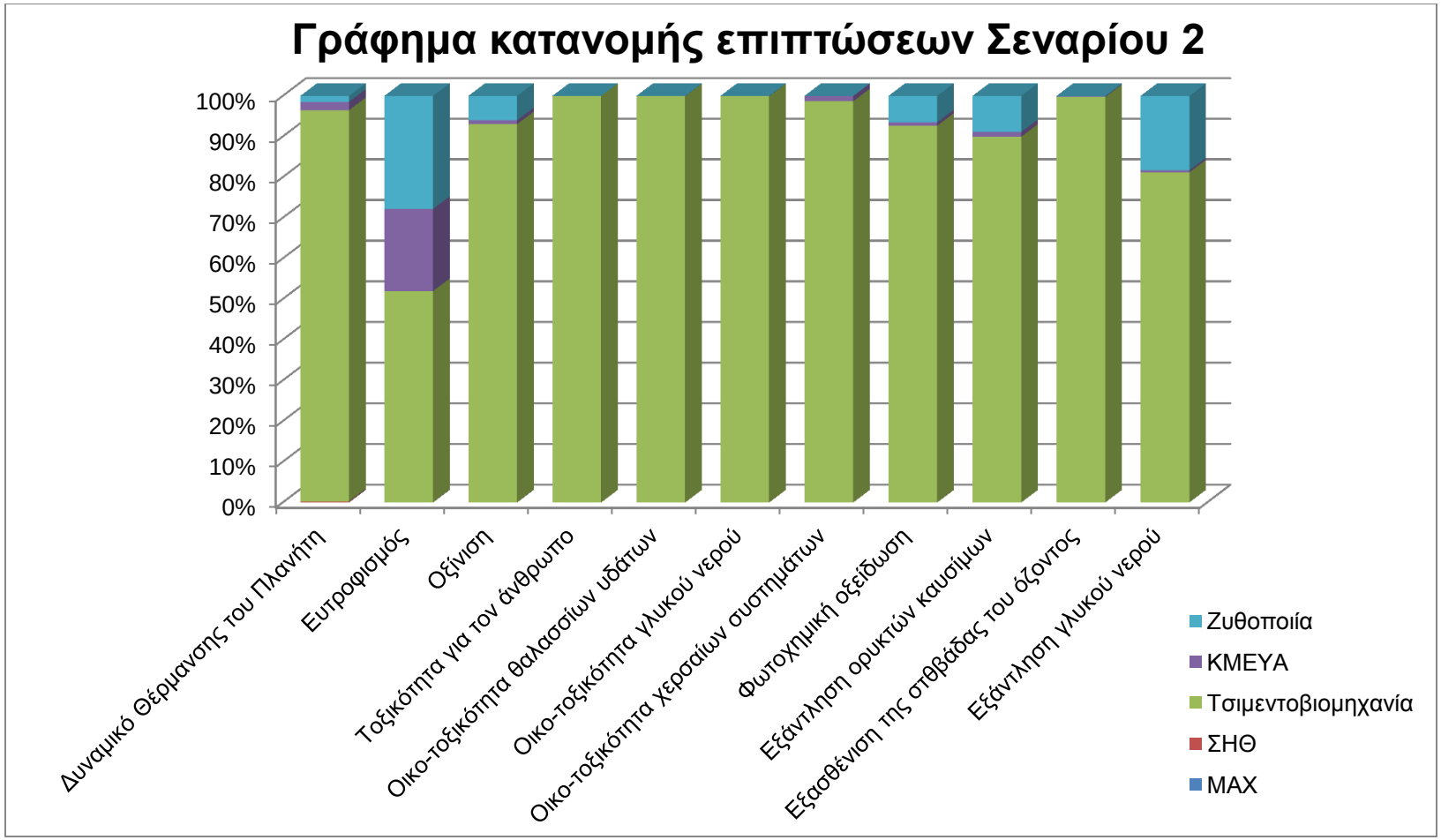
Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Σύνολο
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	935,135,511.77
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	588,525.64
`Οξίνιση	kg SO_2-eq	3,308,053.07
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	64,327,312,880.93
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	2,869,071,933,348.1
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	969,410,506.17
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	1,624,717,461.92
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	176,938.35
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	2,604,530,194.74
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	392.13
Εξάντληση γλυκού νερού	m^3	1,550,142.30

Κανονικοποίηση αποτελεσμάτων Σεναρίου 2

Τα αποτελέσματα του Σεναρίου 2 κανονικοποιούνται με την ίδια μέθοδο που ακολουθείται και στο Σενάριο Βάσης, και τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 39. Ενώ στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε μονάδας στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το Σενάριο 2

Πίνακας 39: Κανονικοποιημένα αποτελέσματα Σεναρίου 2

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Καν/μένη τιμή
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	kg CO_2-eq	1.79E-04
Ευτροφισμός	kg PO_4^{-3}-eq	3.18E-05
`Οξίνιση	kg SO_2-eq	1.97E-04
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg 1.4-DB-eq	1.29E-01
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1.4-DB-eq	6.46E-02
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	kg 1.4-DB-eq	4.64E-03
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	kg 1.4-DB-eq	1.40E-02
Φωτοχημική οξείδωση	kg C_2H_4-eq	1.02E-04
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	MJ	7.42E-05
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	kg CFC-11-eq	3.84E-05



Εικόνα 16: Συνεισφορά κάθε μονάδας στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το Σενάριο 2

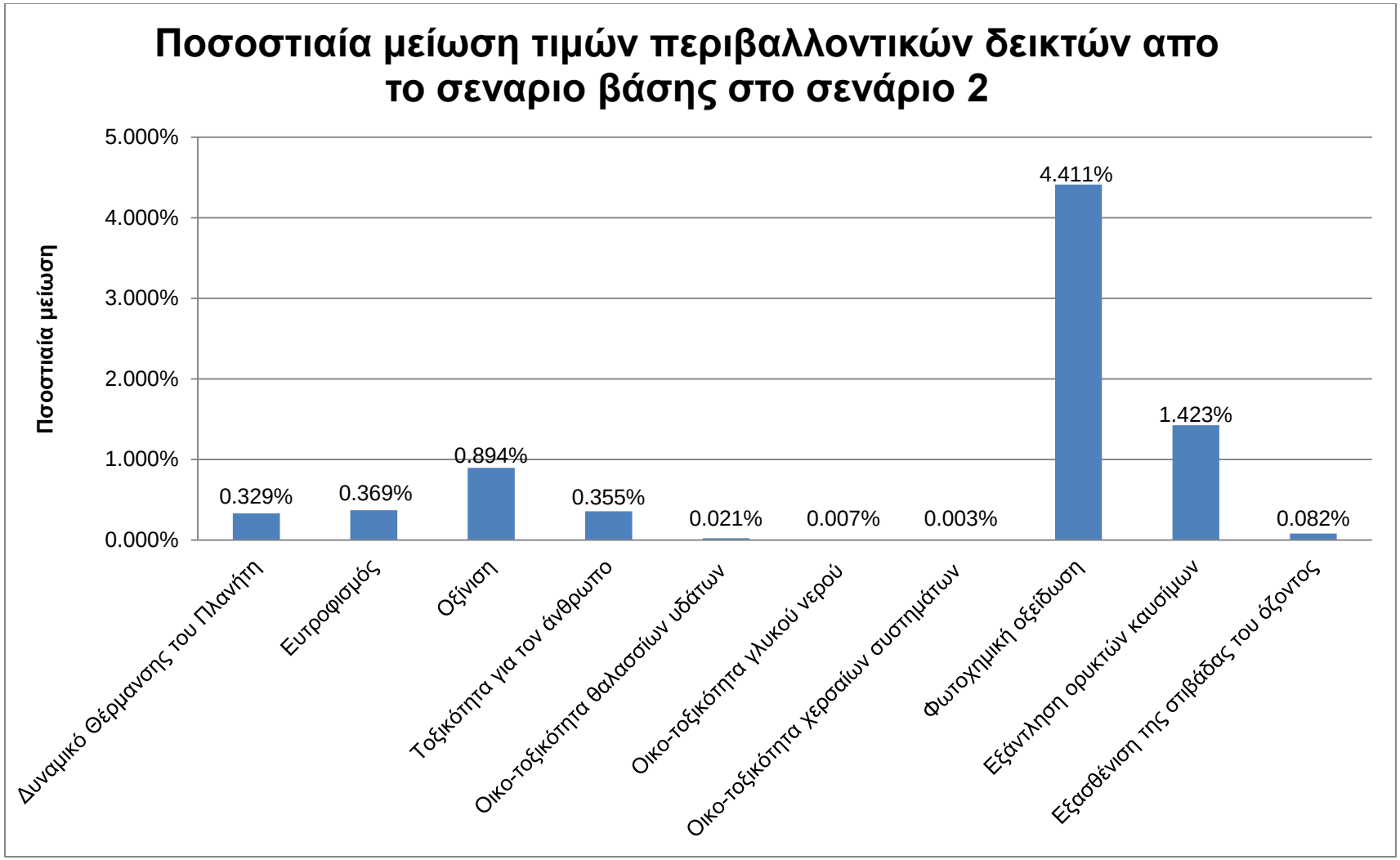
Σύγκριση του Σεναρίου 2 με το Σενάριο Βάσης και το Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα του 2ου συμβιωτικού σεναρίου συγκρίνονται με αυτά του Σεναρίου Βάσης και του 1ου συμβιωτικού σεναρίου. Ο Πίνακα 40 παρουσιάζει τη μεταβολή των τιμών των δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το Σενάριο Βάσης στο Σενάριο 2 σε απόλυτες μονάδες.

Πίνακας 40: Μεταβολή τιμών δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το Σενάριο Βάσης στο Σενάριο 2

Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Διαφορά
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	**kg CO_2-eq**	**-3,080,912.44**
Ευτροφισμός	**kg PO_4^{-3}-eq**	**-2179.55**
Οξίνιση	**kg SO_2-eq**	**-29,826.75**
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	**kg 1.4-DB-eq**	**-29,226,797.4**
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	**kg 1.4-DB-eq**	**-596,811,651**
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	**kg 1.4-DB-eq**	**-65,051.84**
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	**kg 1.4-DB-eq**	**-50,510.90**
Φωτοχημική οξείδωση	**kg C_2H_4-eq**	**-8,066.42**
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	**MJ**	**-61,082,791.40**
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	**kg CFC-11-eq**	**-0.32**
Εξάντληση γλυκού νερού	**m^3**	**-436,430.28**

Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μείωση των τιμών των δεικτών από το Σενάριο Βάσης στο Σενάριο 2.



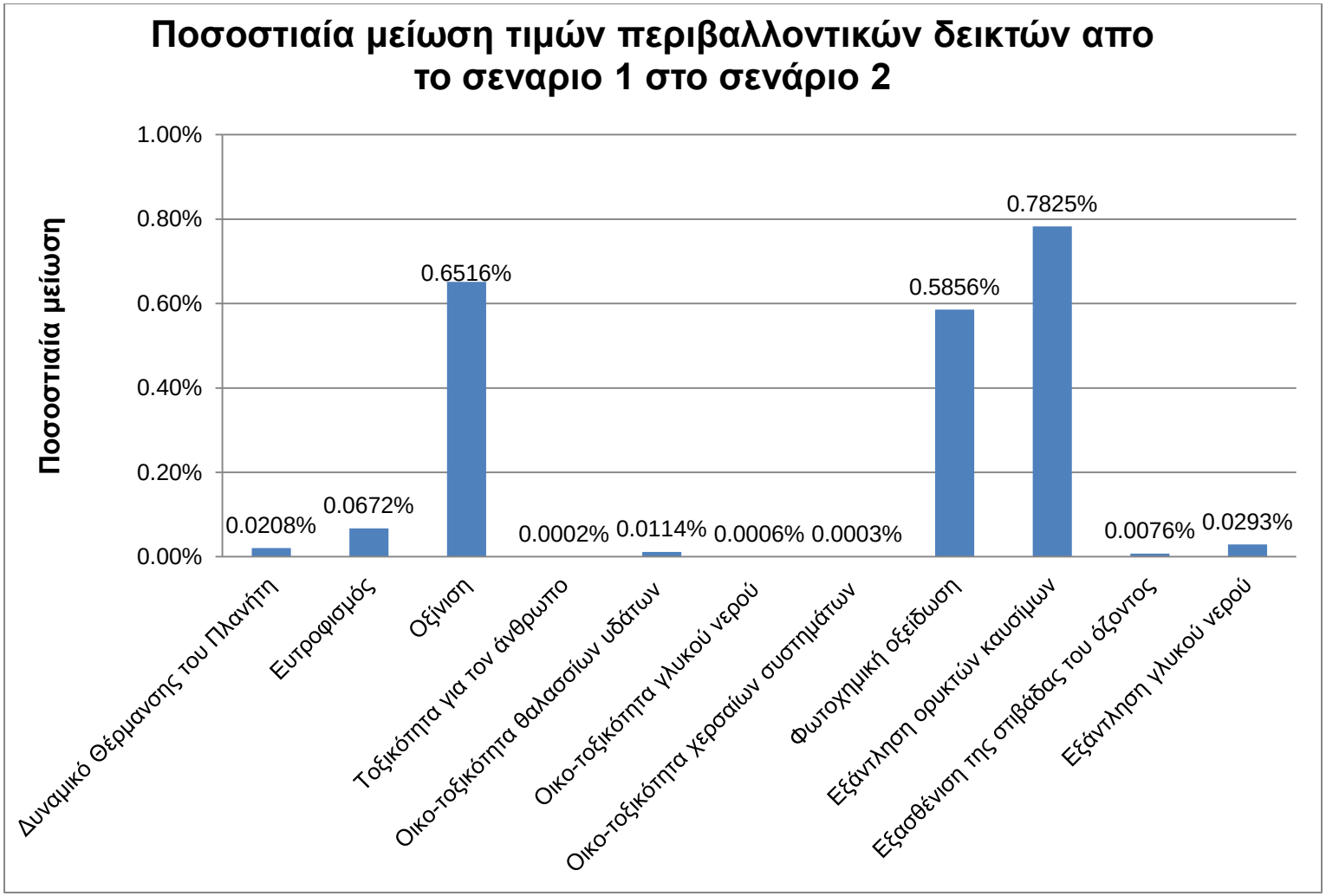
Εικόνα 17: Ποσοστιαία μείωση τιμών περιβαλλοντικών δεικτών από το Σενάριο Βάσης στο Σενάριο 2

Στον Πίνακα 41 παρουσιάζονται οι μεταβολές στις τιμές των δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το Σενάριο 1 στο Σενάριο 2 σε απόλυτες τιμές.

Πίνακας 41: Μεταβολή τιμών δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το Σενάριο 1 στο Σενάριο 2

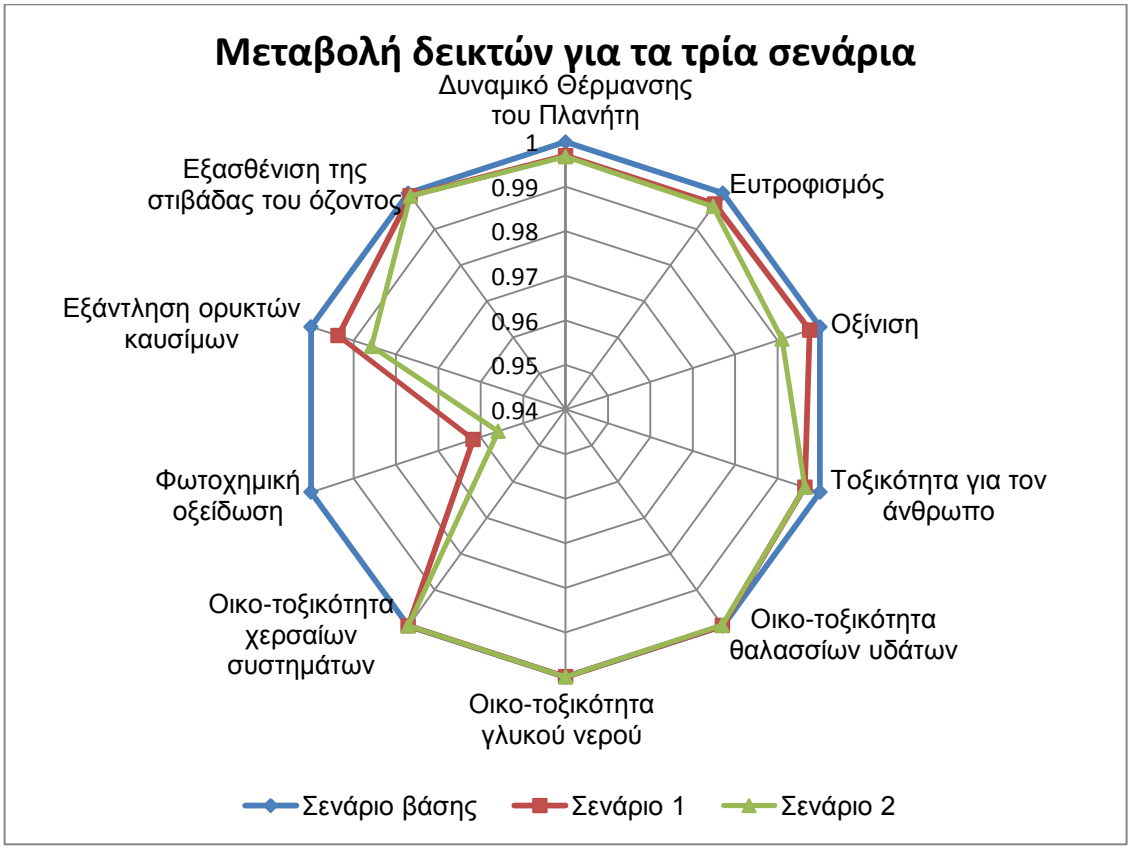
Κατηγορία επιπτώσεων	Μονάδα	Διαφορά
Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη	**kg CO_2-eq**	**-194,632.73**
Ευτροφισμός	**kg PO_4^{-3}-eq**	**-396.35**
Οξίνιση	**kg SO_2-eq**	**-21,732.47**
Τοξικότητα για τον άνθρωπο	**kg 1.4-DB-eq**	**-130,821.11**
Οικο-τοξικότητα θαλασσίων υδάτων	**kg 1.4-DB-eq**	**-328,539,225.29**
Οικο-τοξικότητα γλυκού νερού	**kg 1.4-DB-eq**	**-6,251.65**
Οικο-τοξικότητα χερσαίων συστημάτων	**kg 1.4-DB-eq**	**-4,622.21**
Φωτοχημική οξείδωση	**kg C_2H_4-eq**	**-1,070.90**
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων	**MJ**	**-33,584,005.15**
Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος	**kg CFC-11-eq**	**-0.02**
Εξάντληση γλυκού νερού	**m^3**	**-3,210.08**

Η ποσοστιαία μείωση των τιμών των δεικτών από το Σενάριο 1 στο Σενάριο 2 παρουσιάζονται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18: Ποσοστιαία μείωση δεικτών από το Σενάριο 1 στο Σενάριο 2

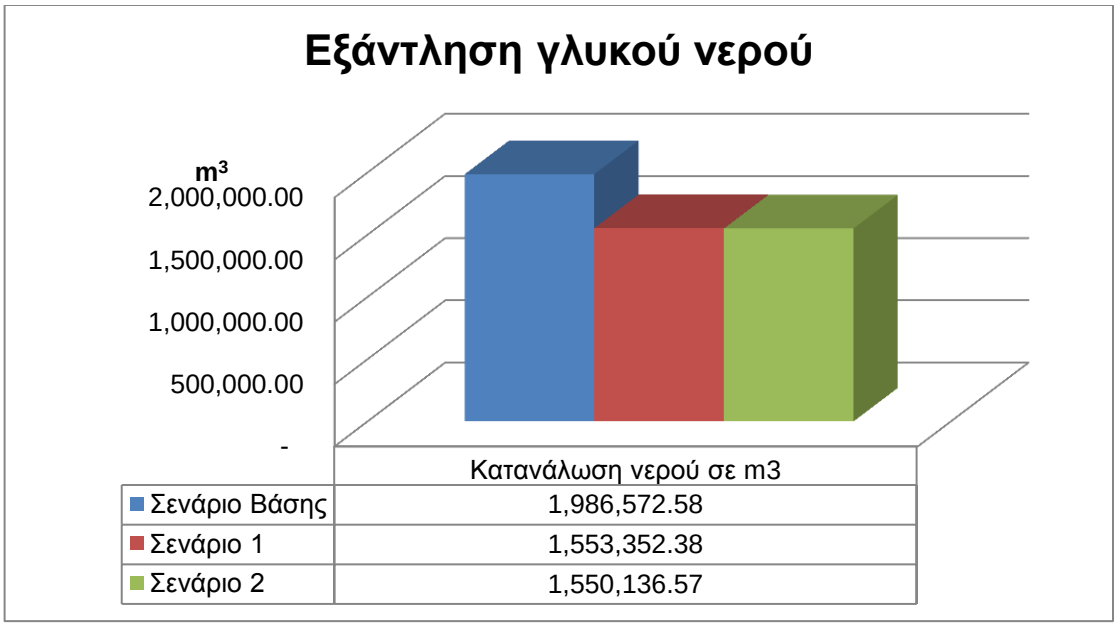
Οι τιμές των δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τα δύο συμβιωτικά σενάρια διαιρέθηκαν με τις αντίστοιχες του Σεναρίου Βάσης, ώστε να ανηχθούν οι δείκτες σε μία κοινή κλίμακα από 0-1 και να επιτραπεί η σύγκριση των δεικτών μεταξύ των σεναρίων (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Μεταβολή τιμών δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τα τρία σενάρια

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 19, η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση αφορά στη Φωτοχημική οξείδωση, ενώ αρκετοί δείκτες παραμένουν σχεδόν αμετάβλητοι.

Ο δείκτης με τη μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση είναι ο δείκτης εξάντλησης γλυκού νερού. Η μεταβολή του παρουσιάζεται στην Εικόνα 20.



Εικόνα 20: Μεταβολή εξάντλησης γλυκού νερού για τα τρία σενάρια

3.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Τα σενάρια συμβίωσης μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υπό μελέτη συστήματος. Το 2^{ο} Σενάριο εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το 1^{ο} Σενάριο δικαιώνοντας έτσι την επιλογή για πραγματοποίηση μίας Βέλτιστης Συμβιωτικής Επέμβασης. Με το 2^{ο} Σενάριο επιτυγχάνεται αύξηση των συμβιωτικών δράσεων και η δημιουργία ενός μεγαλύτερου συμβιωτικού δικτύου, ενώ παράλληλα μειώνεται η εξάρτηση της ζυθοποιίας από ορυκτά καύσιμα.

Η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επιτυγχάνεται από τα συμβιωτικά σενάρια είναι μικρή σε σύγκριση με αυτές του Σεναρίου Βάσης. Οι τιμές των περιβαλλοντικών δεικτών μειώνονται λιγότερο από 5% στα δύο σενάρια, με εξαίρεση την τιμή του δείκτη εξάντλησης γλυκού νερού, η οποία μειώνεται κατά 21,72% στο 2ο Συμβιωτικό Σενάριο. Η μικρή αυτή μείωση στις τιμές των περιβαλλοντικών δεικτών οφείλεται στο ότι οι συμβιωτικές δράσεις που εξετάστηκαν στοχεύουν στην υποκατάσταση των εισερχόμενων ρευμάτων πρώτων υλών και ενέργειας στο σύστημα από εναλλακτικά

ρεύματα, και όχι στη βελτίωση της απόδοσης των διεργασιών και στην αλλαγή τεχνολογίας. Για παράδειγμα, στην τιμή του δείκτη που αφορά στο Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη, συμβάλλει κατά πλειοψηφία (95%), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 13, η τσιμεντοβιομηχανία. Από αυτό το 95%, το 75% είναι αποτέλεσμα των άμεσων εκπομπών που εκλύονται κατά την έψηση της φαρίνας στους φούρνους του κλίνκερ. Αύτη η διεργασία δε μπορεί να αντικατασταθεί από άλλη για να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών. Συνεπώς, οι δυνατότητες επεμβάσεων περιορίζονται στο υπόλοιπο 25%.

Μία άλλη παράμετρος που επηρεάζει τη μείωση των τιμών των δεικτών είναι τα όρια του υπό μελέτη συστήματος. Εάν για παράδειγμα είχαν θεωρηθεί εντός των ορίων του συστήματος οι καλλιέργειες κριθαριών, τότε θα αποτυπωνόταν η μεταβολή των επιπτώσεων λόγω της χρήσης του κομπόστ του χωνευτήρα ως εδαφοβελπτιωτικού (θα υπήρχε μείωση της χρήσης λιπασμάτων). Ένα άλλο παράδειγμα αφορά τη μονάδα που διαχειρίζεται τα αστικά βιοδιασπώμενα απορρίμματα. Τα απορρίμματα που εισέρχονται εντός του συστήματος για επεξεργασία στον αναερόβιο χωνευτήρα θα είχαν ως εναλλακτική επιλογή επεξεργασίας την ταφή τους σε Χ.Υ.Τ.Α. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας τέτοιας διεργασίας θα ήταν πολλαπλάσιες από αυτές της αναερόβιας χώνευσης. Συνεπώς, με την επιλογή της αναερόβιας χώνευσης αποφεύγονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης Χ.Υ.Τ.Α. Όμως, ο Χ.Υ.Τ.Α. είναι εκτός των ορίων του συστήματος, άρα οι επιπτώσεις του δεν λαμβάνεται υπόψη.

Η μείωση των τιμών των δεικτών στο 1^{ο} Σενάριο είναι αποτέλεσμα της μείωσης της χρήσης των ρευμάτων της τσιμεντοβιομηχανίας, δηλαδή αποτέλεσμα της μείωσης των έμμεσων εκπομπών (background emissions). Η μείωση των τιμών των δεκτών στο 2^{ο} Σενάριο είναι αποτέλεσμα τόσο της μείωσης των έμμεσων εκπομπών της ζυθοποιίας, λόγω της μειωμένης πλέον χρήσης φυσικού αερίου και ηλεκτρισμού από το δίκτυο, όσο και της μείωσης των άμεσων εκπομπών λόγω της μειωμένης ποσότητας φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται ως καύσιμο και της επαναχρησιμοποίησης του ρεύματος του

ιζήματος ζυθογλεύκους. Η μείωση αυτή υπερκαλύπτει την αύξηση που προκαλείται λόγω της λειτουργίας νέων μονάδων (ΜΑΧ & ΣΗΘ) και οδηγεί σε συνολικά χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

4 Συμπεράσματα

- **Είναι η βιομηχανική συμβίωση αποτελεσματική μέθοδος για την ενίσχυση της αειφόρου ανάπτυξης;**

Η βιομηχανική συμβίωση είναι μία αποτελεσματική μέθοδος για την ενίσχυση της αειφόρου ανάπτυξης και την ανάπτυξη μορφών κυκλικής οικονομίας σε βιομηχανικές περιοχές. Η επιτυχία της βασίζεται στους πέντε βασικούς στόχους της κυκλικής οικονομίας. Το παράδειγμα που παρουσιάστηκε δείχνει ότι η βιομηχανική συμβίωση συνεισφέρει στη μείωση των αποβλήτων, ενισχύει την ελαστικότητα και την αντοχή των συστημάτων, δημιουργώντας συμβιωτικά δίκτυα, μειώνει τη χρήση των ορυκτών καυσίμων, ακολουθεί μία συστημική προσέγγιση και βελτιώνει τις δυνατότητες διαδοχικής σύζευξης.

Όπως φάνηκε και από τη μείωση των ρύπων που καταγράφηκε στα αποτελέσματα, μέσω της βιομηχανικής συμβίωσης επιτυγχάνεται ενίσχυση του περιβαλλοντικού πυλώνα της αειφορίας. Η δημιουργία νέων μονάδων, όπως παρουσιάστηκε στο 2^{ο} Σενάριο, δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας, συμβάλλοντας στον κοινωνικό πυλώνα, αν και δε πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση με οικονομικούς ή κοινωνικούς όρους. Με την επαναχρησιμοποίηση ρευμάτων, που ήταν απόβλητα, ενισχύεται και ο οικονομικός πυλώνας της αειφορίας, καθώς το κόστος ενός αποβλήτου είναι χαμηλότερο από αυτό μιας πρώτης ύλης.

- **Ποια είναι τα κομβικά σημεία και ποιες οι δυσκολίες για την πραγματοποίηση της βιομηχανικής συμβίωσης;**

Τα κομβικά σημεία είναι η ανεύρεση και ανάπτυξη των πιθανών συνεργειών. Η πρόκληση είναι η χρήση κατάλληλης τεχνολογίας, ώστε να υπάρχει η απαραίτητη συμβατότητα μεταξύ των συμβιωτικών ρευμάτων και της διεργασίας στην οποία θα χρησιμοποιηθούν. Ωστόσο, κύρια δυσκολία είναι η απροθυμία των διοικήσεων των βιομηχανικών μονάδων να εμπιστευτούν κάποια άλλη διοίκηση και να δημιουργήσουν συμβιωτικές συνδέσεις. Ο φόβος

αυτός οφείλεται στην αβεβαιότητα για το αν θα αρθεί η κάθε πλευρά στο ύψος των περιστάσεων και θα συνεχίσει να τηρεί μία συμφωνία που είναι μεν κοινά επωφελής, αλλά δεσμεύει και τις δύο μεριές για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.

- **Ποιές είναι οι προτάσεις προς περαιτέρω διερεύνηση και ανάπτυξη του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου;**

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο σαφώς επιδέχεται βελτιώσεων. Προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στα εξής τρία σημεία:

Το πρώτο είναι η ανάπτυξη μιας μεθόδου που θα αξιολογεί τα συμβιωτικά σενάρια και με κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια. Μία πρόταση θα ήταν η να αξιολογηθούν οι συμβιωτικές επεμβάσεις χρησιμοποιώντας ως κοινωνικό κριτήριο τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ως οικονομικό κριτήριο τη μείωση του κόστους.

Το δεύτερο σημείο που πρέπει να δοθεί προτεραιότητα είναι η βελτίωση των μεθόδων ταξινόμησης των υλικών ενέργειας και νερού, ώστε να διευκολύνεται η ανεύρεση των πιθανών συμβιωτικών δράσεων.

Το τρίτο σημείο αφορά στην επιλογή της μεθόδου ανάλυσης επιπτώσεων. Η μέθοδος που επιλέχθηκε δεν δίνει μία αθροιστική εκτίμηση για την περιβαλλοντική διάσταση της αειφορίας (endpoint indicator), αλλά εκτιμά περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε έντεκα διαστάσεις (έντεκα δείκτες - midpoint indicators). Έτσι, αν μετά την εφαρμογή των συμβιωτικών δράσεων κάποιοι από τους έντεκα δείκτες αυξάνονταν, ενώ άλλοι μειώνονταν, θα ήταν δύσκολο να συμπεράνει κάνεις εάν οι συμβιωτικές δράσεις βελτίωσαν ή χειροτέρευσαν τη συνολική περιβαλλοντική επίδοση του συστήματος. Αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με την επιλογή μιας μεθόδου ανάλυσης, που μέσω συντελεστών βαρύτητας (weighting factors), θα δίνει μία αθροιστική εκτίμηση, όπως η μέθοδος Recipe (http://www.lcia-recipe.net/).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

(2012). Ανάκτηση 2014, από MaltingandBrewingResource: http://maltingandbrewing.com/what-is-trub-or-breaks.html

Α.Ε. Τσιμέντων TITAN. (2013). *Ενιαίος ετήσιος απολογισμός 2013.* Αθήνα: Α.Ε. Τσιμέντων TITAN.

Aitor P. Acero, C. R. (2014). *OpenLCA.* (Greendelta, Επιμ.) Ανάκτηση 2015, από http://www.openlca.org/documents/14826/2c5b8391-68d9-49a1-b460-a94f18e7d2df

Ashton, W. (2008). Understanding the Organization of Industria lEcosystems. *Journal of Industrial Ecology, 12*(1), 34-51.

Azapagic, A. (1999). Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical Engineering Journa, 73*, 1-21.

Brown, H. L., Hamel, B. B., & Hedman, B. A. (1950). *Energy anaalysis of 108 industrial processes.* Philadelphia: U.S. Department of energy.

Chertow, M. R. (2004). Industrial Symbiosis. *Encyclopedia of Energy, 3*, 407-415.

Chertow, M. R. (2007). “Uncovering” Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11-30.

Cobreros, C., Reyes-Araiza, J. L., Manzano, A. M., Nava, R., Rodriguez, M., Mondragon, M. F., και συν. (2015). Barley straw ash: Pozzolanic Activity and Comparison with other Natura and Artifficia Pozzolans from Mexicol. *Bioresources*, 3757-3774.

Doka, G. (2009). *Life Cycle Inventories of Waste Water Treatment Services.* Dudendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories.

Du Pisani, J. A. (2006). Sustainable development – historical roots of the concept. *Environmental Sciences*, 83 – 96.

Economic Policy Institute. (2014). *Understanding the historic divergence between productivity and a typical worker's pay.* Washington, DC: Economic Policy Institute.

Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Towards the Circular Economy 3.* Ellen MacArthur Fundation.

(1996). *Emission Factor Documentation for AP-42, Section 9.12.1, Malt Beverages.* Washington, DC: U. S. Environmental Protection Agency.

Eurostat. (2015). *Eurostat*. Ανάκτηση 2015, από Eurostat: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do

Food and Agiculture Organization. (2009). *Agrobusiness Handbook, Barley-Malt-Beer.* Rome: FAO.

Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 144-152.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. D., Struijs , J., & Van Zelm, R. (2008). *ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.* Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment.

Guinee, J. B. (2002). *Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,.

Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Sleeswijk, A. W., Suh , S., Udo de Haes, H., και συν. (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment,Operational guide to the ISO standards.* Leiden: Kluwer Academic Publishers.

Hansen, W., Christopher, M., & Verbuecheln, M. (2002). *EU Waste Policy and Challenges for Regional and Local Authorities.* Berlin: Ecologic, Institute for International and European Environmental Policy.

Hardwick, W. A. (1994). *Handbook of Brewing.* New York: Marcel Dekker.

Hellenic Industrial Development Bank. (2000). *Development, Pilot Application and Promotion of an Industrial Symbiosis Model ın Organised Industrial Areas.* Brussels: European Commission.

Institute of Environmental Sciences Leiden University. (2015). *Instititute of Environmental Sciences.* Ανάκτηση από http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html#downloads

Jevons, S. W. (1886). *The Coal Question: an inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines.* London: Macmillan.

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., και συν. (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment, 8*, 324-330.

Jungbluth, N. (2007). *Life Cycle Inventories of Bioenergy.* Duebendorf and Uster: Swiss Centre of Life Cycle Inventories.

Kalundborg Symbiosis. (2012). *Kalundborg Symbiosis*. Ανάκτηση 2015, από http://www.symbiosis.dk/en/diagram

Kapp, K. W. (1950). *The social costs of private enterprise.* Cambridge: Harvard University Press.

Kohler, A., Hellweg, S., Recan, E., & Hungerbuhler, K. (2007). Input-Dependent Life-Cycle Inventory: Model of Industrial Wastewater-Treatment Processes in the Chemical Sector. *Environmental Science Technologie*, 5515-5522.

Lafarge. (2015). Ανάκτηση 2015, από Lafarge: http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2_2_1-Manufacturing_process

Leiden University. (2001). *Leiden University*. Ανάκτηση 2015, από Institute of Environmental Sciences (CML) : http://cml.leiden.edu/about/

Lowe, E. A., & Evans, L. K. (1995). Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner production, 3*, 47-53.

Martin, M., Ivner, J., Svensson, N., & Eklund, M. (2012). *Classification of Industrial Symbiosis Synergies: Application in the Biofuels Industry .* Linköping: Linköping University.

McKinsey Center for Business and Environment. (2015). *Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe.* Ellen MacArthur Foundation.

Mitcham, C. (1995). The concept of sustainable development: its origins and ambivalence. *Technology in Society, 17*, 311-326.

National Pollutant Inventory. (1999). *Emission Estimation Techniques Manual for Beer Manufacturing.* Australian National Pollutant Inventory.

National Renewable Energy Laboratory . (2014). *Haiti:Feasibility of Waste-to-Energy Options at the Trutier Waste Site .* HDR Engineering.

Nguyen, H., Stuchtey, M., & Zils, M. (2014). *Remaking the industrial economy .* Zurich: McKinsey.

Nisbet, R. (1980). *History of the idea of progress.* London: Heinemann.

Ometto, A. R., & Ramos, P. A. (2007). The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. *Journal of Cleaner Production, 15*, 1253-1258.

Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science Technology, 43*, 4098–4104.

Risch, E., Boutin, C., Roux, P., Gillot, S., & Héduit, A. (2011). LCA in wastewater treatment - Applicability and limitations for constructed wetland systems: using vertical Reed Bed Filters. *Towards Life Cycle Sustainability Management.* Berlin: Springer.

Sharda, A. K., Sharma, P. M., & Sharwan, K. (2013). Performance Evaluation of Brewery Waste Water Treatment Plant. *International Journal of Engineering Practical Research, 2*(3), 105-111.

Spencer, H. (1907). *Seven essays selected from the works of Herbert Spencer.* London: Watts & Co.

Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape. (1998). *Guideline: Disposal of Waste in Cement Plants.* Bern: Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape.

Trokanas, N., Cecelja, F., & Raafat, T. (2013). Semantic approach for pre-assessment of environmental indicators. *Journal of Cleaner Production in Industrial Symbiosis*, 1-13.

United Nation Environment Programme. (1991). *United Nations Environment Programme*. Ανάκτηση 2015, από http://www.unep.org/unea/sdg.asp

United Nations. (2014). *The Millennium Development Goals Report 2014.* New York: United Nations.

United Nations Development Programm. (2014). *Annual Report 2013-2014.* New York: United Nations.

United Nations World Summit. (2005). *2005 World Summit Outcome .* New York: United Nations.

Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J. L., Gasol, C. M., Guillem, M., & Josa, A. (2012). Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production*, 60-67.

Von Wright, G. H. (1997). Progress: Fact and fiction. Στο A. Burgen, P. McLaughhlin, & J. Mittelstrab (Επιμ.), *The idea of progress* (σσ. 1 – 18). Berlin: Walter de Gruyter.

World Bank. (1991). *World Bank*. Ανάκτηση 2015, από http://www.worldbank.org/en/topic/sustainabledevelopment/overview#1

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future.* Brundtland: United Nations.

Worster, D. (1993). *The Wealth of Nature: environmental history and the ecological imagination.* New York: Oxford University Press.

Zhang, L., Yuan, Z., Bi, J., Zhang, B., & Liu, B. (2010). Eco-industrial parks: national pilot practices in China. *Journal of Cleaner Production*, 504-509.

Αθηναϊκή Ζυθοποιία. (2006). *Έκθεση της αθηναϊκής Ζυθοποιίας.* Αθήνα: Αθηναϊκή Ζυθοποιία.

Γρηγοριάδης, Γ. (2000). *Κομμουνιστική επιθεώρηση*. Ανάκτηση 2015, από http://www.komep.gr/2000-teyxos-4/to-aep-ths-xoras-1980-1999-domh-kai-ekseliksh-taseis-kai-symperasmata

Γρηγοροπούλου, Ε., Λυμπεράτος , Γ., Χαλουλάκου, Α., & Βλυσίδης, Α. (2013). *Περιβαλλοντική Μηχανική.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. (2014). *Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία*. Ανάκτηση 2015, από

http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/PAGE-themes?p_param=A0504

Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. (2015). *Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία*. Ανάκτηση 2015, από Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία: http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/PAGE-themes?p_param=A0503&r_param=DKT21&y_param=2015_07&mytabs=0

Εταιρία Φυσικών Πόρων Καναδά. (2013). *Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry.* Ottawa: Natural Resources Canada.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2011). *Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Κοινοβουλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροή των Περιφερειών.* Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2011). *Χάρτης πορείας για μια αποδοτική, από πλευράς πόρων, Ευρώπη.* Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2014). *Προς μια κυκλική οικονομία: Πρόγραμμα μηδενικών αποβλήτων για την Ευρώπη.* Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Ευρωπαϊκό Κοινοβουλίο και Συμβούλιο. (2006). *Β Κανονισμός (ΕΚ) ΑΡΙΘ. 842/2006 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για ορισμένα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου.* Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκό Κοινοβουλίο και Συμβούλιο.

Θωμαΐδου, Φ. (2014). *Βκιομηχανία Τροφίμων και Ποτών: Facts and Figures.* Αθήνα: ΙΔΡΥΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ.

Λυμπεράτος, Γ. (2013). *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων.* Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.

Macarthur, E. (2013). Ανάκτηση 2015, από ellenmacarthurfoundation: http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular-economy/the-circular-model-an-overview

Μουζακίτης, Γ. (2008). *Περι συστηματικών παρεμβάσεων σε αειφόρα βιομηχανικά οικοσυστήματα υπό το πρίσμα της κοινωνικοτεχνικής προσέγγισης.* Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.

Μουρτσιάδης, Α. (Αήνα). Διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων στις Βιομηχανικές Περιοχές. *Ημερίδα ΤΕΕ "Διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων – Παρόν και προοπτικές" .* 2010: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

Τέας, Χ., Καλημέρης, Β., Ριζιώτη, Φ., & Χανιωτάκης, Ε. (2005). ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ. *Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου για την Αξιοποίηση των Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση* (σσ. 1-8). Θεσσαλονίκη: ΑΕ Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ.

Τιταν Α.Ε. (2012). *1ος Ενιαίος Ετήσιος Απολογισμός 2012.* ΤΙΤΑΝ.

Τσακαλάκης , Κ. (2010). *Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τσίμας, Σ., & Τσιβιλής, Σ. (2004). *Επιστήμη και τεχνολογία τσιμέντου.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παράρτημα 1: Κλάσεις υλικών ως προς τη χημική τους σύνθεση και τη μοριακή τους δομή

1 **Κεραμικά & γυαλιά**	**1.Α**	Κρυσταλλικά κεραμικά	**1.Α.i**	Πυρίμαχα κεραμικά	**1.Α.i.α**	Chamotte
					1.Α.i.β	Magnesium oxide
					1.Α.i.γ	Mullite
			1.Α.ii	Δομικά κεραμικά	**1.Α.ii.α**	Τούβλα
					1.Α.ii.β	Πλακίδια δαπέδου
					1.Α.ii.γ	Κεραμίδια
			1.Α.iii	Τεχνικά κεραμικά	**1.Α.iii.α**	Οξείδια του αργιλίου
					1.Α.iii.β	Καρβίδια μετάλλων
					1.Α.iii.γ	Νιτρώδη κεραμικά
					1.Α.iii.δ	Κεραμικά οξείδια
					1.Α.iii.ε	Κεραμικά καρβίδια πυριτίου
					1.Α.iii.στ	Κεραμικά νιτρώδη καρβίδια
					1.Α.iii.ζ	Κεραμικά Ζιρκονίου
			1.Α.iv	Παραδοσιακά κεραμικά	**1.Α.iv.α**	Φαγεντιανή γη
					1.Α.iv.β	Πήλινα
					1.Α.iv.γ	Πορσελάνη
	1.Β	Άμορφα κεραμικά/γυαλί	**1.Β.i**	Διακοσμητικά υαλικά		
			1.Β.ii	Ρευστό γυαλί		
			1.Β.iii	Οπτικές ίνες		
	1.Γ	Ημικρυσταλλικά κεραμικά				

2 Μέταλλα	**2.A**	Σιδηρούχα μέταλλα	**2.A.i**	Χυτοσίδηρος		
			2.A.ii	Ατσαλοσίδερο		
			2.A.iii	Δομικός χάλυβας		
			2.A.iv	Free-Cutting Steel		
			2.A.v	Υψηλής ποιότητας χάλυβας		
			2.A.vi	Χάλυβας υψηλής καταπόνησης		
			2.A.vii	Χάλυβας υψηλής θερμοκρασίας		
			2.A.viii	Χάλυβας χαμηλής θερμοκρασίας		
			2.A.ix	Χάλυβας ελατήριων		
			2.A.x	Χάλυβας	**2.A.x.α**	Ανοξείδωτος χάλυβας
					2.A.x.β	Χάλυβας πλούσιος σε άνθρακα
					2.A.x.γ	Χάλυβας φτωχός σε άνθρακα
					2.A.x.δ	Χάλυβας μέτριος σε άνθρακα
					2.A.x.ε	Χάλυβας με πάρα πολύ άνθρακα
			2.A.xi	Σφυρήλατο σίδερο		
	2.B	Μη σιδηρούχα μέταλλα	**2.B.i**	Αλουμίνιο & κράματά του	**2.B.i.α**	Χυτό αλουμίνιο
					2.B.i.β	Σφυρήλατο αλουμίνιο
			2.B.ii	Χαλκός & κράματά του	**2.B.ii.α**	Χυτός χαλκός
					2.B.ii.β	Σφυρήλατος χαλκός
			2.B.iii	Μαγνήσιο & κράματά του	**2.B.iii.α**	Χυτό μαγνήσιο
					2.B.iii.β	Σφυρήλατο μαγνήσιο
			2.B.iv	Νικέλιο & κράματά του		

2 Μέταλλα	**2.Β**	Μη σιδηρούχα μέταλλα	**2.Β.v**	Λοιπά μη σιδηρούχα μέταλλα	**2.Β.v.α**	Βυρήλιο
					2.Β.v.β	Βισμούθιο
					2.Β.v.γ	Κάδμιο
					2.Β.v.δ	Χρώμιο
					2.Β.v.ε	Κοβάλτιο
					2.Β.v.στ	Χρυσός
					2.Β.v.ζ	Μόλυβδος
					2.Β.v.η	Μαγνήσιο
					2.Β.v.θ	Υδράργυρος
					2.Β.v.ι	Μολυβδένιο
					2.Β.v.ια	Παλάδιο
					2.Β.v.ιβ	Πλατίνα
					2.Β.v.ιγ	Ρόδιο
					2.Β.v.ιδ	Άργυρος
					2.Β.v.ιε	Ταλάντιο
					2.Β.v.ιστ	Κασσίτερος
					2.Β.v.ιζ	Βολφράμιο
					2.Β.v.ιη	Βανάδιο
					2.Β.v.ιθ	Σελήνιο
					2.Β.v.κα	Ουράνιο
			2.Β.vi	Τιτάνιο & κράματά του		
			2.Β.vii	Ψευδάργυρος & κρίματά του		

3 Φυσικά & τεχνητά σύνθετα υλικά	**3.A**	Σύνθετα κεραμικών μητρών	**3.A.i**	Ενισχυμένο γυαλί		
	3.B	Σύνθετα υβριδικών μητρών	**3.B.i**	Ελάσματα μεταλλικών ινών		
			3.B.ii	Χυλήτες		
	3.C	Σύνθετα μεταλλικών μητρών				
	3.D	Σύνθετα μητρών φυσικών υλικών	**3.D.i**	Σκυρόδεμα		
			3.D.ii	Οπλισμένο σκυρόδεμα		
	3.E	Σύνθετα πολυμερικών μητρών	**3.E.i**	Ενισχυμένα πολυμερή	**3.E.i.α**	ABS GF30
					3.E.i.β	BMC (UP GF15)
					3.E.i.γ	PA 6 GF30
					3.E.i.δ	PA 66 GF30
					3.E.i.ε	PBT GF30
					3.E.i.στ	PC GF30
					3.E.i.ζ	PEEK 30 C
					3.E.i.η	PEEK GF30
					3.E.i.θ	PES GF30
					3.E.i.ι	PET GF30
					3.E.i.ια	POM GF30
					3.E.i.ιβ	PP GF30
					3.E.i.ιγ	PPO GF30
					3.E.i.ιδ	PPS GF40
					3.E.i.ιε	PSU GF30
					3.E.i.ιστ	SMC (UP GF25)
					3.E.i.ιζ	SMC (UP GF50)
					3.E.i.ιη	UP 25% gl.mat
					3.E.i.ιθ	UP 45% gl. mat
			3.E.ii	Ξύλο		

4 Φυσικά & τεχνητά πολυμερή	**4.A**	Χαρτόνι				
	4.B	Ελαστομερή	**4.B.i**	Butadiene Rubber		
			4.B.ii	Chloroprene Rubber		
			4.B.iii	Chlorosulph. PE		
			4.B.iv	Ethenepropenediene Rubber		
			4.B.v	Liquid Silicone Rubber		
			4.B.vi	Natural Rubber		
			4.B.vii	Nitrile Rubber		
			4.B.viii	Silicone Rubber		
			4.B.ix	Styrenebutadiene Rubber		
			4.B.x	Urethane Rubber		
	4.C	Χαρτί				
	4.D	Ίνες πολυμερών	**4.D.i**	Ζωικές ίνες	**4.D.i.α**	Πεπιεσμένο μαλλί
					4.D.i.β	Μετάξι
					4.D.i.γ	Μαλλί
			4.D.ii	Ανθρακονήματα		
			4.D.iii	Ημισυνθετικές ίνες	**4.D.iii.α**	Βισκόζη
			4.D.iv	Συνθετικές ίνες	**4.D.iv.α**	Αραμίδιο
					4.D.iv.β	dyneema (πολυαιθυλένιο)
					4.D.iv.γ	Ίνες νάιλον
					4.D.iv.δ	Ίνες πολυεστέρα
			4.D.v	Φυτικές ίνες	**4.D.v.α**	Ίνες μπανάνας
					4.D.v.β	Ίνες κοκοφοίνικα
					4.D.v.γ	Βαμβάκι
					4.D.v.δ	Λινάρι
					4.D.v.ε	Ίνες κάνναβης
					4.D.v.στ	Ίνες γιούτα
					4.D.v.ζ	Ίνες ραμί
					4.D.v.η	Ίνες σιζαλ
					4.D.v.θ	Ίνες αμύλου
	4.E	Ανακυκλωμένο χαρτί				

4 Φυσικά & τεχνητά πολυμερή	**4.F**	Θερμοπλαστικά	**4.F.i**	Φυτικά πολυμερή	**4.F.i.α**	CA (Cellulose Acetate)
					4.F.i.β	CAB (Cellulose Acetate Butyrate)
					4.F.i.γ	Cellulose Nitrate
					4.F.i.δ	Ethyl Cellulose
					4.F.i.ε	Natural Starch
					4.F.i.στ	PHB (Polyhyroxybutyrate)
					4.F.i.ζ	PHBV or P(3HB-co-3HV)
					4.F.i.η	PLA Copolymer
					4.F.i.θ	PLA monomere (Polylactic Acid)
					4.F.i.ι	Thermoplastic Starch (TPS)
			4.F.ii	Εμπορικά πολυμερή	**4.F.ii.α**	ABS Galvano
					4.F.ii.β	ABS General Purpose
					4.F.ii.γ	ABS Heat Resistant
					4.F.ii.δ	ABS High Impact
					4.F.ii.ε	Acrylonitrile styrene acrylate
					4.F.ii.στ	HDPE
					4.F.ii.ζ	LDPE
					4.F.ii.η	LLDPE
					4.F.ii.θ	PMMA
					4.F.ii.ι	PMMA (cast)
					4.F.ii.ια	PP (cop.)
					4.F.ii.ιβ	PP (hom.)
					4.F.ii.ιγ	PS (gpps)
					4.F.ii.ιδ	PS (hips)
					4.F.ii.ιε	PVC hard
					4.F.ii.ιστ	PVC soft

4 **Φυσικά & τεχνητά πολυμερή**	**4.F**	Θερμοπλαστικά	**4.F.iii**	Πολυμερή μηχανικής	**4.F.iii.α**	Cellulose Acetate [CA]
					4.F.iii.β	Liquid-crystal Polymer [LCP]
					4.F.iii.γ	PA 12
					4.F.iii.δ	PA 46
					4.F.iii.ε	PA 6
					4.F.iii.στ	PA 6 (cast)
					4.F.iii.ζ	PA 6-3-T
					4.F.iii.η	PA 66
					4.F.iii.θ	PB
					4.F.iii.ι	PBT
					4.F.iii.ια	PC
					4.F.iii.ιβ	PEEK
					4.F.iii.ιγ	PEI
					4.F.iii.ιδ	PET
					4.F.iii.ιε	PET Bottle Grade
					4.F.iii.ιστ	PI
					4.F.iii.ιζ	Polyamide 11 [PA 11]
					4.F.iii.ιη	POM (hom.)
					4.F.iii.ιθ	PPO
					4.F.iii.κ	PTFE
					4.F.iii.κα	PVDF
					4.F.iii.κβ	SAN

4 **Φυσικά & τεχνητά πολυμερή**	**4.G**	Θερμοσκληραινόμενα	**4.G.i**	Δέρμα		
			4.G.ii	Πολυμερικοί αφροί	**4.G.ii.α**	PE exp
					4.G.ii.β	PF exp
					4.G.ii.γ	PS exp
					4.G.ii.δ	PUR (flexible foam)
					4.G.ii.ε	PUR (hard foam)
					4.G.ii.στ	PVC exp
			4.G.iii	EP		
			4.G.iv	MF		
			4.G.v	PF		
			4.G.vi	PUR		
			4.G.vii	UF		
			4.G.viii	UP		

5 **Ορυκτά**	**5.A**	Εγγενή στοιχεία	**5.A.i**	Καρβίδια
			5.A.ii	Φωσφίδια
			5.A.iii	Πυριτίδια
			5.A.vi	Νιτρίδια
			5.A.v	Μέταλλα & κράματα
	5.B	Θειούχα	**5.B.i**	Σουλφίδια
			5.B.ii	Θειώδη άλατα
			5.B.iii	Σουλφαρσενάτες
			5.B.iv	Σουλφαμινάτες
	5.C	Αλογονίδια	**5.C.i**	Αλογενίδια
			5.C.ii	Οξυαλογονίδια
			5.C.iii	Υδροξυαλογονίδια

5 Ορυκτά	**5.D**	Οξείδια & υδροξείδια	**5.D.i**	Βαναδικά
			5.D.ii	Αρσενιάτες
			5.D.iii	Αντιμονάτες
			5.D.iv	Βισμουδίτες
			5.D.v	Θειώδη
			5.D.vi	Ιωδικά
			5.D.vii	Σπινελική ομάδα
			5.D.viii	Ομάδα Nickel-Strunz
	5.E	Ανθρακικά & Νιτρικά	**5.E.i**	Ασβεστίτες
			5.E.ii	Βουρκανίτες
			5.E.iii	Δολομίτες
			5.E.iv	Μαλαχίτες
			5.E.v	Αραγονίτες
			5.E.vi	Τουνδρίτες
	5.F	Βορικά	**5.F.i**	Ομάδα Ludwigite
			5.F.ii	Ομάδα Βορακίτη
			5.F.iii	Ομάδα Inderite
			5.F.iv	Ομάδα Santite
			5.F.v	Ομάδα Hilgardite
			5.F.vi	Ομάδα Pringleite
	5.G	Θειικά	**5.G.i**	Θειικά
			5.G.ii	Σεληνικά
			5.G.iii	Χρωμικά
			5.G.iv	Μολυβδικά
			5.G.v	Βισμουθικά
			5.G.vi	Niobates
			5.G.vii	Ομάδα κιζερίτη (ένυδρα)
			5.G.vii	Ομάδα αλουμινίτη I

5 **Ορυκτά**	**5.H**	Φωσφορικά	**5.H.i**	Άνυδρα φωσφορικά
			5.H.ii	Ομάδα Alluaudite-Wyllieite
			5.H.iii	Ομάδα Whitlockite
			5.H.iv	Ομάδα Monazite
			5.H.v	Ομάδα Adelite
			5.H.vi	Ομάδα Olivenite
			5.H.vii	Ομάδα Arrojadite
			5.H.viii	Ομάδα Απατίτη
			5.H.ix	Ομάδα Rockbridgeite
			5.H.x	Ομάδα Λαζουλίτη
			5.H.xi	Ένυδρα φωσφορικα
			5.H.xii	Ομάδα Brackebushite
			5.H.xiii	Ομάδα Turquoise
			5.H.xiv	Ομάδα Overite
			5.H.xv	Ομάδα Αλουμινίτη ΙΙ
			5.H.xvi	Μη απλά φωσφορικά
	5.I	Πυριτικά	**5.I.i**	Ομάδα νησοπυριτικών
			5.I.ii	Ομάδα Garnet
			5.I.iii	Ομάδα Humite
			5.I.iv	Ομάδα σοροπυριτικών
			5.I.v	Ομάδα κυκλοπυριτικών
			5.I.vi	Ομάδα ινοπυριτικών
			5.I.vii	Ομάδα αμφίβολου
			5.I.viii	Ομάδα φυλλοπυριτικών
			5.I.ix	Ομάδα τεκτοπυριτικών
			5.I.x	Ομάδα Germanates
	5.J	Οργανικά ορυκτά	**5.J.i**	Γαιάνθρακες
			5.J.ii	Σχιστολιθικό πετρέλαιο

6 Οργανικά	**6.A**	Διαλύτες	**6.A.i**	Πολικοί
			6.A.ii	Άπολοι
	6.B	Πετροχημικά	**6.B.i**	Ελαφρά
			6.B.ii	Μέσα
			6.B.iii	Βαριά

7 Αγροτικά	**7.A**	Προϊόντα φυτικής παραγωγής	**7.A.i**	Δημητριακά		
			7.A.ii	Φρούτα/Λαχανικά		
			7.A.iii	Χυμοί/ποτά		
	7.B	Προϊόντα ζωικής παραγωγής	**7.B.i**	Γαλακτοκομικά		
			7.B.ii	Κρεατικά		
	7.C	Βιοδιασπώμενα απόβλητα	**7.B.i**	Απόβλητα ζωικής παραγωγής	**7.B.i.α**	Κοπριά
					7.B.i.β	Βιολογικής προέλευσης στερεά
					7.B.i.γ	Βιολογικής προέλευσης υγρά
			7.B.ii	Απόβλητα φυτικής παραγωγής	**7.B.ii.α**	Πυρήνες
					7.B.ii.β	Μίσχοι/φλοίδες
					7.B.ii.γ	Υγρά φυτικής προέλευσης
	7.D	Λιπάσματα/ εδαφοβελτιωτικά	**7.D.i**	Φυσικής προέλευσης		
			7.D.ii	Βιομηχανικής προέλευσης		

8 Βιοχημικά/ Μικροοργανισμοί	**8.A**	Μικροοργανισμοί	**8.A.i**	Μύκητες
			8.A.ii	Βακτήρια
	8.B	Βιοχημικά		

Παράρτημα 2: Μεταβολή δείκτη βιομηχανικής δραστηριότητας ανά κλάδο

Ο δείκτης βιομηχανικής δραστηριότητας μέτριοι τις αυξομειώσεις της βιομηχανικής δραστηριότητας ως προς ένα έτος βάσης. Για το έτος αυτό ο δείκτης λαμβάνει τομή 100.

		Εξόρυξη άνθρακα και λιγνίτη		Εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου		Εξόρυξη μεταλλευμάτων		Λοιπά προϊόντα ορυχείων και λατομείων	
	Έτος	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή
Βάση 1980	1980	-		-		-		-	
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-
Βάση 2010	2000	117.9		229		124.9		151.3	
	2014	88.4	-25.0%	56.5	-75.3%	85.2	-31.8%	82.7	-45.3%

		Τροφίμων		Αναψυκτικών –ποτών		Προϊόντα καπνού		Υφαντικών ειδών	
	Έτος	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή
Βάση 1980	1980	100		100		100		100	
	1999	136.7	36.7%	168.7	68.7%	128.5	28.5%	62.2	-37.8%
Βάση 2010	2000	98.6		106.3		122.6		385.6	
	2014	94.1	-4.6%	86	-19.1%	99	-19.2%	60.8	-84.2%

		Ειδών ένδυσης-υπόδησης		Δέρματος		Ξύλου και φελλού		Χάρτου	
	Έτος	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή
Βάση 1980	1980	100		100		100		100	
	1999	39.6	-60.4%	29.3	-70.7%	50.9	-49.1%	136.9	36.9%
Βάση 2010	2000	314.8		308.8		209.2		115.2	
	2014	62.9	-80.0%	62.9	-79.6%	42.2	-79.8%	96.9	-15.9%

		Εκτυπώσεων και εκδόσεων		Χημικών προϊόντων		Φαρμακευτικά		Ελαστικών και πλαστικού	
	Έτος	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή
Βάση 1980	1980	100		100		-		100	
	1999	72.4	-27.6%	177.7	77.7%	-	-	145.1	45.1%
Βάση 2010	2000	128.2		132.1		29.9		133.1	
	2014	57.7	-55.0%	91.6	-30.7%	98.4	229.1%	88.5	-33.5%

		Λοιπά μη μεταλλικά ορυκτά		Εξόρυξη βασικών μετάλλων		Μεταλλικά προϊόντα		Υπολογιστών και τεχνολογίας	
	Έτος	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή
Βάση 1980	1980	100		100		100		-	
	1999	99.9	-0.1%	114.4	14.4%	72.8	-27.2%	-	-
Βάση 2010	2000	157.1		91.2		123.5		967.2	
	2014	55.7	-64.5%	102	11.8%	78	-36.8%	101.1	-89.5%

		Ηλεκτρολογικού εξοπλισμού		Μηχανολογικού εξοπλισμού		Μηχανές μεταφοράς		Λοιπά μέσα μεταφοράς	
	Έτος	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή
Βάση 1980	1980	100		100		100		100	
	1999	165	65.0%	128.8	28.8%	76.1	-23.9%	76.1	-23.9%
Βάση 2010	2000	130.8		136.1		490.7		217.3	
	2014	63.5	-51.5%	84.9	-37.6%	67.3	-86.3%	29.1	-86.6%

		Έπιπλα		Επισκευή και εγκατάσταση εξοπλισμού		Παραγωγή και διανομή ηλεκτρισμού		Επεξεργασία και διανομή νερού	
	Έτος	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή	Δείκτης	Μεταβολή
Βάση 1980	1980	100		-		-		-	
	1999	85	-15.0%	-	-	-	-	-	-
Βάση 2010	2000	199.9		190.6		106.9		92.5	
	2014	48.1	-75.9%	71.9	-62.3%	85.2	-20.3%	96	3.8%

Παράρτημα 3: Κατάσταση μεταποιητικού κλάδου σε Ελλάδα και Ε.Ε.

Αριθμός Επιχειρήσεων Μεταποίησης			
Ελλάδα		**ΕΕ-27**	
Κλάδος	**Ποσοστό**	**Κλάδος**	**Ποσοστό**
Συνολικός αριθμός επιχειρήσεων: **83,565**	100.00%	Συνολικός αριθμός επιχειρήσεων: **2,040,000**	100.00%
Τρόφιμα	18.90%	Μεταλλικά Προϊόντα	17.90%
Μεταλλικά Προϊόντα	15.10%	Τρόφιμα	12.30%
Είδη ένδυσης	13.70%	Προϊόντα Ξύλου	8.40%
Έπιπλα	8.70%	Επισκευή μηχανημάτων και εξοπλισμού	7.60%
Προϊόντα ξύλου	7.70%	Είδη ένδυσης	6.30%

Κύκλος Εργασιών			
Ελλάδα		**ΕΕ-27**	
Κλάδος	**Ποσοστό**	**Κλάδος**	**Ποσοστό**
Συνολικός κύκλος εργασιών: **54,884 εκατ. €**	100.00%	Συνολικός κύκλος εργασιών: **5,800,000 εκατ. €**	100.00%
Οπτάνθρακας και προϊόντα διύλισης	21.80%	Τρόφιμα	13.50%
Τρόφιμα	20.20%	Κατασκευή μηχανοκίνητων οχημάτων	10.80%
Μεταλλικά Προϊόντα	7.60%	Κατασκευή μηχανημάτων και ειδών εξοπλισμού	8.80%
Βασικά Μέταλλα	7.50%	Χημικά προϊόντα	7.20%
Προϊόντα από μη μεταλλικά ορυκτά	5.90%	Μεταλλικά προϊόντα	6.90%

Αξία Παραγωγής			
Ελλάδα		**ΕΕ-27**	
Κλάδος	**Ποσοστό**	**Κλάδος**	**Ποσοστό**
Συνολική αξία παραγωγής: **50,150 εκατ. €**	100.00%	Συνολική αξία παραγωγής: **5,200,000 εκατ. €**	100.00%
Τρόφιμα	20.40%	Τρόφιμα	13.80%
Οπτάνθρακας και προϊόντα διύλισης	18.70%	Κατασκευή μηχανοκίνητων οχημάτων	10.00%
Μεταλλικά Προϊόντα	8.20%	Κατασκευή μηχανημάτων και ειδών εξοπλισμού	8.90%
Βασικά μέταλλα	7.70%	Μεταλλικά προϊόντα	7.40%
Προϊόντα από μη μεταλλικά ορυκτά	6.40%	Χημικά προϊόντα	7.20%

Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία			
Ελλάδα		**ΕΕ-27**	
Κλάδος	**Ποσοστό**	**Κλάδος**	**Ποσοστό**
Συνολική ακαθάριστη προστιθέμενη αξία: **16,901 εκατ. €**	100.00%	Συνολική ακαθάριστη προστιθέμενη αξία: **1,400,000 εκατ. €**	100.00%
Τρόφιμα	19.70%	Τρόφιμα	11.30%
Μεταλλικά προϊόντα	9.40%	Κατασκευή μηχανημάτων και ειδών εξοπλισμού	10.70%
Προϊόντα από μη μεταλλικά ορυκτά	8.40%	Μεταλλικά προϊόντα	9.80%
Οπτάνθρακας και προϊόντα διύλισης	7.60%	Κατασκευή μηχανοκίνητων οχημάτων	7.10%
Ποτά	6.30%	Χημικά προϊόντα	6.60%

Αριθμός Εργαζομένων			
Ελλάδα		**ΕΕ-27**	
Κλάδος	**Ποσοστό**	**Κλάδος**	**Ποσοστό**
Συνολικός αριθμός εργαζόμενων: **400,943**	100.00%	Συνολικός αριθμός εργαζόμενων: **31,000,000**	100.00%
Τρόφιμα	20.30%	Τρόφιμα	13.50%
Μεταλλικά προϊόντα	11.90%	Μεταλλικά προϊόντα	11.70%
Είδη Ένδυσης	7.40%	Κατασκευή μηχανημάτων και ειδών εξοπλισμού	9.40%
Προϊόντα από μη μεταλλικά ορυκτά	6.70%	Κατασκευή μηχανοκίνητων οχημάτων	7.00%
Έπιπλα	5.20%	Κατασκευή από ελαστικό και πλαστικές ύλες	5.30%